



Henderson Batista Pereira Manico

Licenciado em Ciências da Engenharia Civil

Pavimentos rodoviários flexíveis em Angola. Caracterização e aplicação de metodologias BIM

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil – Perfil de Estruturas

Orientador: Doutora Simona Fontul, Professora Auxiliar convidada, FCT/UNL

Coorientador: Doutora Maria João Falcão, Investigadora Auxiliar, LNEC

Júri:

Presidente: Doutor Mário Vicente da Silva, FCT

Arguentes: Doutor José Neves, IST

Vogal: Doutora Simona Fontul, FCT



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Novembro, 2018

“Pavimentos rodoviários flexíveis em Angola. Caracterização e aplicação de metodologias BIM”, Copyright © Henderson Batista Pereira Manico, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais pelo incansável trabalho que tiveram comigo desde o meu nascimento até este preciso momento, ao meu querido avô Lourenço Batista Tocado, por nunca ter deixado de acreditar em mim e por me ter ensinado a não deixar de seguir os meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Embora uma dissertação seja um trabalho individual, muitos foram os intervenientes que direta ou indiretamente, contribuíram para o culminar desta etapa da minha vida. Desta forma, não poderia deixar de os agradecer:

Primeiramente, os meus agradecimentos serão dirigidos às minhas supervisoras, Prof. Simona Fontul, Doutora Maria João Falcão e Doutora Paula Couto pelo apoio continuo ao meu trabalho, pela sua motivação, sabedoria e incansável transmissão de conhecimentos. Reunindo, dessa forma, todos os fatores necessários para que fosse possível a pesquisa e conceção desta dissertação.

Em segundo lugar, agradecer ao *Laboratório Nacional de Engenharia Civil* pelas instalações e pelos meios disponibilizados que permitiram que fosse possível a realização deste trabalho.

Agradecer, também, ao Laboratório de Engenharia de Angola pelos elementos disponibilizados, que sem eles não seria possível a realização deste trabalho.

Agradecer ao Departamento de Engenharia e Projetos da Sonangol E.P. pelas instalações e pelo conhecimento transmitido, permitindo que fosse possível a elaboração deste trabalho.

A todos os meus amigos pelo apoio incansável durante a realização de toda esta etapa, particularmente, ao “*Best Of FCT*” pela luta diária, pelas noites nas salas do edifício VII, pela partilha de conhecimentos e de momentos que ficarão guardados comigo para sempre.

A toda a comunidade de São Nicolau, em especial ao Padre Mário Rui Leal Pedras, que durante anos foi como um pai para mim, ao Padre José Kambuta, Padre Adelino Prata, Padre Hugo Santos, Padre Manuel Carlos, à Dona Helena, à Dona Maria da Cruz por serem fundamentais em todos os momentos desta jornada cada um de forma diferente. A todos os rapazes da comunidade pelo apoio, pela amizade, por serem essa força motriz para mim.

À Telma pela amizade, amor e paciência ao longo de toda esta etapa da minha vida, agradeço com um carinho muito especial pela sua presença, compreensão e incentivo que foram fundamentais para a mobilização de uma maior motivação na realização deste trabalho.

Por fim, mas não menos importante, pelo contrário, um agradecimento muito especial aos meus pais. Obrigado por tudo o que fizeram por mim, pelo incansável apoio, carinho, força e incentivo mostrado nos momentos mais difíceis, foram imprescindíveis a todos os níveis para

chegar a esta etapa, e para a conclusão deste trabalho. Um muito obrigado ao meu irmão Herlander por toda a força transmitida, por todos os momentos passados ao meu lado dando todo o apoio que precisei nos momentos mais difíceis. Agradeço a toda a minha família, tios, primos, padrinho, que apesar de estarem longe não deixaram de estar presentes. Ao avô Lourenço Batista, que mesmo não estando mais entre nós sempre me mostrou que eu podia alcançar os meus objetivos. O que sou hoje, a eles devo.

RESUMO

As infraestruturas rodoviárias em serviço, dado o aumento das solicitações do tráfego, tanto em termos de carga por eixo como em termos de número de veículos, requerem medidas adequadas e um planeamento atempado de ações de manutenção e reabilitação. Devido à carga induzida pelo tráfego e aos fatores ambientais, ocorrem degradações graduais ao longo do tempo, causando problemas no desempenho e, uma redução na capacidade de carga do pavimento. Por este motivo, são realizadas campanhas de avaliação para analisar a condição do pavimento. No entanto, para aumentar a sua eficiência, procura-se implementar uma metodologia que reforce o seu desempenho e potencie o seu trabalho. Para tal, é aplicada a metodologia BIM que envolve a criação de uma representação digital das características físicas e funcionais de uma construção, baseando-se num conjunto de métodos que permite o controle da informação através de elementos paramétricos.

Este trabalho baseia-se nos principais aspetos das campanhas de avaliação de pavimentos rodoviários, implementados a um caso de estudo de um pavimento em serviço, em que se tem em vista a modelação em 3D do mesmo num ambiente BIM onde se procura apresentar as potencialidades desta ferramenta no que diz respeito ao acompanhamento do estado do pavimento, desde a sua fase de projeto até à sua manutenção, em que se faz a monitorização dos valores de deflexão resultantes destas campanhas de avaliação estrutural com auxílio a um ensaio de carga não destrutiva utilizando o Defletómetro de Impacto (FWD). Tendo em vista, de uma forma mais intuitiva, perceber a evolução da estrutura do pavimento ao nível da camada de desgaste e fundação, quer ao nível da capacidade de carga das camadas, bem como o controle da quantidade de material utilizada no decorrer de uma reabilitação.

Pretende-se, também, avaliar a aplicabilidade prática do conceito BIM implementado no caso de estudo, em que afigura-se a conceção de um modelo 3D onde se representa uma patologia bastante relevante, posteriormente faz-se um modelo do caso de estudo em que se procura dar ênfase à definição dos elementos e à representação da informação através de metodologias mais expeditas e de cariz organizacional maior, as quais levam à otimização da infraestrutura, aumentando os níveis de segurança, qualidade e custo.

Neste sentido, afigura-se com maior relevância compreender, à priori, as metodologias de inspeção e monitorização das infraestruturas existentes, e perceber de que forma os dados podem ser enquadrados para o estabelecimento de um modelo de registo da informação da construção numa base de dados estruturadas por objetos.

Palavras-chave: BIM, pavimento flexível, FWD.

ABSTRACT

Road infrastructures in service, given the increase in traffic demands, both in terms of axle load and in terms of number of vehicles, requires adequate measures and timely planning of maintenance and rehabilitation actions. Due to traffic-induced loading and environmental factors, gradual degradations occur over time, causing performance problems and a reduction in pavement load capacity. For this reason, evaluation campaigns are carried out to analyse the condition of the pavement. However, in order to increase its efficiency, it seeks to implement a methodology that reinforces its performance and enhances its work.

For this, the BIM methodology is applied, which involves the creation of a digital representation of the physical and functional characteristics of a construction, based on a set of methods that allows the control of the information through parametric elements.

This work is based on the main aspects of road pavement evaluation campaigns, implemented in a case study of a pavement in service, in which the 3D modeling of the pavement in a BIM environment is attempted, in which the potentialities of this pavement tool for monitoring the condition of the floor from its design phase to its maintenance, where the deflection values resulting from these structural evaluation campaigns are monitored with the aid of a non-destructive load test using the Falling Weight Deflectometer (FWD). With a view, in a more intuitive way, to understand the evolution of the pavement structure at the level of the wear and foundation layer, as well as the load capacity of the layers, as well as the control of the amount of material used in the course of a rehabilitation.

It is also intended to evaluate the practical applicability of the BIM concept implemented in the case study, in which it seems to be the design of a 3D model where a very relevant pathology is represented, later a case study model in which which focuses on the definition of the elements and the representation of information through more expeditious methodologies and greater organization, which lead to the optimization of infrastructure, increasing levels of safety, quality and cost.

In this sense, it is more important to understand, a priori, the methodologies of inspection and monitoring of existing infrastructures, and to understand how the data can be framed for the establishment of a model of recording the information of the construction in a database structured by objects.

Keywords: BIM, flexible pavement, FWD.

INDICE GERAL

DEDICATÓRIA	V
AGRADECIMENTOS.....	VII
RESUMO	IX
ABSTRACT	XI
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO DA DISSERTAÇÃO	1
1.2. ÂMBITO E OBJETIVOS DO TRABALHO.....	1
1.3. METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO	2
1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	2
2. CARACTERIZAÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS EM ANGOLA	5
2.1. GENERALIDADES	5
2.2. COMPOSIÇÃO E ESTRUTURA DO PAVIMENTO	5
2.3. MATERIAIS	8
2.3.1. MISTURAS BETUMINOSAS	8
2.3.2. MATERIAIS GRANULARES	10
2.3.3. SOLOS DE FUNDAÇÃO	10
2.4. MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DOS PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS.....	11
AUSCULTAÇÃO DO PAVIMENTO	11
2.4.1. INSPEÇÃO VISUAL DO ESTADO DA SUPERFÍCIE.....	11
2.4.2. TEXTURA SUPERFICIAL.....	13
2.4.3. COEFICIENTE DE ATRITO	13
2.4.4. PROFUNDIDADE DE TEXTURA	15
2.4.5. REGULARIDADE LONGITUDINAL.....	16
2.4.6. REGULARIDADE TRANSVERSAL	16
2.4.7. AVALIAÇÃO BASEADA EM INSPEÇÃO VISUAL (PCI)	17
2.4.8. AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE ESTRUTURAL	18
2.5. PATOLOGIAS DOS PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS FLEXÍVEIS EM ANGOLA.....	21
2.5.1. DEFORMAÇÃO	21
2.5.1.1. RODEIRAS.....	21
2.5.1.2. ABATIMENTO.....	22
2.5.1.3. DEFORMAÇÕES LOCALIZADAS.....	24
2.5.1.4. ONDULAÇÃO	24
2.5.2. FENDILHAMENTO	25

2.5.3.	DEFEITOS DA SUPERFÍCIE	26
2.5.3.1.	DESAGREGAÇÕES SUPERFICIAIS	26
2.5.3.2.	POLIMENTO DOS AGREGADOS.....	27
2.5.3.3.	NINHOS.....	28
2.5.3.4.	PELADAS	28
2.5.4.	MOVIMENTO DOS MATERIAIS	29
2.5.4.1.	EXSUDAÇÃO	29
2.5.4.2.	SUBIDA DE FINOS	29
3.	DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS	31
3.1.	GENERALIDADES	31
3.2.	TRÁFEGO	32
3.2.1.	DENSIDADE DE TRÁFEGO.....	32
3.2.2.	VELOCIDADE DE TRÁFEGO	33
3.2.3.	VOLUME DE TRÁFEGO	33
3.2.4.	VIDA ÚTIL DO PROJETO.....	34
3.2.5.	CARACTERIZAÇÃO DO TRÁFEGO.....	35
3.2.6.	CLASSES DE TRÁFEGO	35
3.3.	CLASSES DE FUNDAÇÃO	37
3.4.	DEFINIÇÃO DA ESTRUTURA DO PAVIMENTO EM FUNÇÃO DA HUMIDADE	38
3.5.	DRENAGEM	41
3.5.1.	DRENAGEM SUPERFICIAL	41
3.5.1.1.	SISTEMAS DE DRENAGEM LONGITUDINAL	41
3.5.1.2.	SISTEMAS DE DRENAGEM TRANSVERSAL.....	42
3.5.2.	DRENAGEM SUBTERRÂNEA	42
3.5.3.	DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS DE DRENAGEM	43
3.6.	CONDIÇÕES CLIMÁTICAS	44
4.	BIM – BUILDING INFORMATION MODELLING	47
4.1.	GENERALIDADES	47
4.2.	NÍVEIS DO BIM	50
4.3.	LOD – LEVELS OF DEVELOPMENT	51
4.4.	IFC – INDUSTRY FOUNDATION CLASSES.....	53
4.5.	LEGISLAÇÃO BIM	56
4.6.	BIM E PROJETOS DE INFRAESTRUTURAS	56
5.	CASO DE ESTUDO	59
5.1.	DESCRIÇÃO DO PAVIMENTO	59
5.2.	RESULTADOS EXPERIMENTAIS	64
5.2.1.	ENSAIO COM O DEFLETÓMETRO DE IMPACTO	64
5.3.	MODELAÇÃO DE PATOLOGIAS EM BIM	68
5.4.	MODELAÇÃO DO TRECHO EXPERIMENTAL EM BIM.....	69
5.4.1.	DESCRIÇÃO GERAL	69

5.4.2.	DEFINIÇÃO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS	70
5.4.3.	DEFINIÇÃO DOS MATERIAIS	72
5.4.4.	MODELAÇÃO GEOMÉTRICA	74
5.4.5.	FASES DE PLANEAMENTO DO PROJETO	76
5.4.6.	MEDIDAS, QUANTIDADES E CUSTOS	78
5.4.7.	MODELAÇÃO DOS TRABALHOS REALIZADOS NA ÚLTIMA REABILITAÇÃO (CASO 3)	80
5.4.8.	RESULTADOS DA MODELAÇÃO	83
5.5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	86
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	89
6.1.	CONCLUSÕES.....	89
6.2.	DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	90
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
	ANEXO A	99
	ANEXO B	100

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 - ESTRUTURA DE UM PAVIMENTO FLEXÍVEL (MORAES, 2017).	6
FIGURA 2.2 - DISTRIBUIÇÃO DE CARGAS (GUEDES, 2009).	8
FIGURA 2.3 - MEDIÇÃO DO ESTADO SUPERFICIAL DO PAVIMENTO (NASCIMENTO, 2016).	12
FIGURA 2.4 - EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA INSPEÇÃO VISUAL (NASCIMENTO, 2016).	12
FIGURA 2.5 - PÊNDULO BRITÂNICO (VALDO, 2015).	14
FIGURA 2.6 – SCRIM (NASCIMENTO, 2016).	14
FIGURA 2.7 – GRIP-TESTER (NASCIMENTO, 2016).	15
FIGURA 2.8 – ENSAIO DA MANCHA DE AREIA (DYNATEST, 2018).	15
FIGURA 2.9 - PERFILÓMETRO LASER E ENSAIO IRI (NASCIMENTO, 2016).	16
FIGURA 2.10 - GRAU DE QUALIDADE DO PAVIMENTO (PCI) (DE MORAIS & SILVA, 2013).	18
FIGURA 2.11 – DEFLETÓMETRO DE IMPACTO DO LNEC.	19
FIGURA 2.12 – GEOFONES DE UM FWD.	20
FIGURA 2.13 - RODEIRAS DE PEQUENO RAIO (TORRÃO, 2015).	22
FIGURA 2.14 - RODEIRAS DE GRANDE RAIO.	22
FIGURA 2.15 - ABATIMENTO LONGITUDINAL.	23
FIGURA 2.16 – ABATIMENTO TRANSVERSAL.	24
FIGURA 2.17 – DEFORMAÇÕES LOCALIZADAS	24
FIGURA 2.18 – ONDULAÇÕES (ALVES T. S., 2007).	25
FIGURA 2.19 - TIPOS DE FENDILHAMENTO (TORRÃO, 2015).	26
FIGURA 2.20 – FISSURAS ISOLADAS, MÚLTIPLAS E PELE DE CROCODILO.	26
FIGURA 2.21 – DESAGREGAÇÕES SUPERFICIAIS.	27
FIGURA 2.22 – POLIMENTO DOS AGREGADOS (NASCIMENTO, 2016).	27
FIGURA 2.23 – NINHOS (NASCIMENTO, 2016).	28
FIGURA 2.24 – PELADAS.	28
FIGURA 2.25 – EXSUDAÇÃO (NASCIMENTO, 2016).	29
FIGURA 2.26 – SUBIDA DE FINOS.	30
FIGURA 3.1 - PAÍSES CONTEMPLADOS PELO O MANUAL SATCC (SADC, 2012)	32
FIGURA 3.2 – TIPOS DE CLIMA EM ANGOLA (SUPRAWEB ANGOLA, LDA, 2018).	45
FIGURA 4.1 – POTENCIALIDADES DO BIM. ADAPTADO DE (AFSARI, 2012).	48
FIGURA 4.2 – DIMENSÕES DO BIM. ADAPTADO DE (WALDECK CONSULTING, 2016).	50
FIGURA 4.3 - NÍVEIS DO BIM. ADAPTADO DE (MORDUE, 2016).	51
FIGURA 4.4 – LOD 100 (SOETHE, 2017).	52
FIGURA 4.5 – LOD 200 (SOETHE, 2017).	52
FIGURA 4.6 – LOD 300 (SOETHE, 2017).	52

FIGURA 4.7 – LOD 400 (SOETHE, 2017).	53
FIGURA 4.8 – LOD 500 (SOETHE, 2017).	53
FIGURA 4.9 – EVOLUÇÃO CRONOLÓGICA DO IFC (BUILDINGSMART, 2018).	54
FIGURA 4.10 – INTERCÂMBIO ENTRE AS VÁRIAS ESPECIALIDADES (ANDRE, 2018).	55
FIGURA 4.11 – UTILIZAÇÃO DO BIM EM OBRAS DE INFRAESTRUTURA (RADUNS, 2013).	57
FIGURA 4.12 – BENEFÍCIOS DA UTILIZAÇÃO DO BIM EM OBRAS DE INFRAESTRUTURA (RADUNS, 2013).	57
FIGURA 5.1 – TROÇO EXPERIMENTAL.	59
FIGURA 5.2 – DIAGRAMA W1: BASE GRANULAR/SUB-BASE GRANULAR (REGIÕES HÚMIDAS).	61
FIGURA 5.3 – ESTRUTURA DO PAVIMENTO (CASO 1).	62
FIGURA 5.4 – ESTRUTURA DO PAVIMENTO (CASO 2).	63
FIGURA 5.5 – ESTRUTURA DO PAVIMENTO (CASO 3).	63
FIGURA 5.6 – ENSAIO DE CARGA COM O DEFLETÓMETRO DE IMPACTO (DOMINGOS, 2007).	65
FIGURA 5.7 – INFLUÊNCIA DAS DIFERENTES CAMADAS NA BACIA DE DEFLEXÃO. ADAPTADO DE (FONTUL, 2004).	65
FIGURA 5.8 – DEFLEXÕES RELATIVAS À CAMADA DE DESGASTE (D1).	67
FIGURA 5.9 – DEFLEXÕES RELATIVAS AO SOLO DE FUNDAÇÃO (D7).	67
FIGURA 5.10 – MODELAÇÃO DE RODEIRAS DE GRANDE RAIO.	69
FIGURA 5.11 – ESCOLHA DO MODELO	71
FIGURA 5.12 – DEFINIÇÃO DAS UNIDADES DO PROJETO.	71
FIGURA 5.13 – NAVEGADOR DE PROJETO.	72
FIGURA 5.14 – EDIÇÃO DA ESTRUTURA DO PAVIMENTO.	72
FIGURA 5.15 – NAVEGADOR DE MATERIAIS.	73
FIGURA 5.16 – GÊNESE DE UM MATERIAL COM CARACTERÍSTICAS PADRÃO.	73
FIGURA 5.17 – SELEÇÃO DO MODELO ESTRUTURAL.	74
FIGURA 5.18 – REPRESENTAÇÃO 3D DAS CAMADAS DO PAVIMENTO REABILITADO.	74
FIGURA 5.19 – CONCEÇÃO DO MODELO ESTRUTURAL.	75
FIGURA 5.20 – REPRESENTAÇÃO 3D DO MODELO DO PAVIMENTO.	76
FIGURA 5.21 – FASES DO PROJETO.	77
FIGURA 5.22 – ILUSTRAÇÃO DAS FASES DO PROJETO NO MODELO 3D.	77
FIGURA 5.23 – ESCOLHA DO TIPO DE ELEMENTO A QUANTIFICAR.	78
FIGURA 5.24 – PROPRIEDADES DA TABELA.	79
FIGURA 5.25 – MODELO 3D (CASO 2).	80
FIGURA 5.26 – REMOÇÃO DAS CAMADAS DO PAVIMENTO DO CASO 2.	81
FIGURA 5.27 – APLICAÇÃO DO REFORÇO DO SUBLEITO (CASO 3).	81
FIGURA 5.28 – APLICAÇÃO DA CAMADA DE SUB-BASE MELHORADA (CASO 3).	82
FIGURA 5.29 – APLICAÇÃO DA CAMADA DE BASE ABGE.	82
FIGURA 5.30 – APLICAÇÃO DA CAMADA DE DESGASTE (CASO 3).	83
FIGURA 5.31 – DEFINIÇÃO DA ÁREA A SER IDENTIFICADA.	84
FIGURA 5.32 – EDIÇÃO DE LEGENDA DE CORES.	84
FIGURA 5.33 – RESULTADOS DO FWD PARA A CAMADA DE DESGASTE E FUNDAÇÃO (CASO 1).	85
FIGURA 5.34 – RESULTADOS DO FWD PARA A CAMADA DE DESGASTE E FUNDAÇÃO (CASO 2).	85
FIGURA 5.35 – RESULTADOS DO FWD PARA A CAMADA DE DESGASTE E FUNDAÇÃO (CASO 3).	86
FIGURA 0.1 – PERFIL TRANSVERSAL DO CASO DE ESTUDO	99

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 2.1 - COMPOSIÇÃO E ESTRUTURA DAS CAMADAS DO PAVIMENTO FLEXÍVEL (FRANCISCO, 2012).	7
TABELA 2.2 - MÓDULO DE DEFORMABILIDADE DAS MISTURAS BETUMINOSAS SEGUNDO A NORMA DA SATCC (SATCC, 1998).	9
TABELA 2.3 - MÓDULO DE DEFORMABILIDADE DAS MISTURAS BETUMINOSAS EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA (FREEME, 1983).	9
TABELA 2.4 - MÓDULO DE DEFORMABILIDADE A ADOTAR EM CAMADAS GRANULARES, (SATCC, 1998).	10
TABELA 2.5 - TEXTURA SUPERFICIAL (NASCIMENTO, 2016).	13
TABELA 2.7 - INTERVALO DE DEFLEXÕES PARA D1 (CARACTERÍSTICA DA ATUAL CAMADA DE DESGASTE).	20
TABELA 2.8 - INTERVALO DE DEFLEXÕES PARA D7 (CARACTERÍSTICA DA ATUAL DA FUNDAÇÃO).	20
TABELA 3.1 - SELEÇÃO DO TEMPO ÚTIL DO PROJETO (SATCC, 1998).	35
TABELA 3.2 - EXPOENTES RECOMENDADOS (SATCC, 1998).	37
TABELA 3.3 - CLASSES DE TRÁFEGO (SATCC, 1998).	37
TABELA 3.4 - CLASSES DE FUNDAÇÃO (SATCC, 1998).	38
TABELA 3.5 - ESPECIFICAÇÕES PARA ESTABELECIMENTO DO ÍNDICE CBR (SATCC, 1998).	38
TABELA 3.6 - TIPOLOGIA DE ESTRUTURAS DISPONÍVEIS NO CATÁLOGO SATCC (SATCC, 1998).	39
TABELA 3.7 - CRITÉRIO DE DIMENSIONAMENTO DA REGIÃO CLIMÁTICA EM FUNÇÃO DA HUMIDADE NA REGIÃO (SATCC, 1998).	40
TABELA 3.8 - CRITÉRIO DE SELEÇÃO DA REGIÃO DE DIMENSIONAMENTO EM ZONAS HÚMIDAS, (SATCC, 1998).	40
TABELA 5.1 - MÓDULO DE DEFORMABILIDADE E COEFICIENTE DE POISSON DAS CAMADAS.	64
TABELA 5.2 - CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DAS CAMADAS DE BASE E SUB-BASE.	68
TABELA 5.3 - MAPA DE QUANTIDADES	79

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials

AEC – Arquitetura, Engenharia e Construção

AIA – American Institute Architects

ASTM – American Society for Testing and Materials

BIM – Building Information Modelling

CAD – Computer Aided Design

CBR – California Bearing Ratio

CEPSA – Compañía Española de Petróleos S.A.U.

COBie – Construction Operations Building Information Exchange

CSIR – Council for Scientific and Industrial Research

DCP – Dynamic Cone Penetrometer

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

ESA – Equivalent Standard Axles

FWD – Falling Weight Deflectometer

IAI – International Alliance for Interoperability

IFC – Industry Foundation Classes

IP – Índice de Plasticidade

IRI – International Roughness Index

ISO – International Organization for Standardization

IST – Instituto Superior Técnico

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

LOD – Levels of Development

NBS – National Building Specification

PCI – Pavement Condition Index

SADC – Southern Africa Development Community

SATCC – Southern Africa Transport and Communications Commission

SCRIM – Sideway Force Coefficient Routine Investigation Machine)

TMDA – Tráfego Médio Diário Anual

TMD – Tráfego Médio Diário

VHP – Volume Horário de Ponta.

.ifc – formato de arquivo padrão baseado na norma ISO – STEP

.ifcxml – formato de arquivo padrão baseado na linguagem XML

.ifczip – arquivo comprimido de um formato .ifc ou . ifcxml

D – Condições secas

D_1 – Valor de deflexão no centro

D_7 – Valor de deflexão no ponto mais afastado

D_m – Deflexão medida

D_n – Deflexão normalizada

E – Módulo de deformabilidade

F – Fator de agressividade

F_m – Força medida

F_p – Força padronizada

i – Taxa média de crescimento anual

$K(t)$ – Densidade de tráfego

n – Expoente de dano relativo

$N_{Projeto}$ – Número de passagens de eixo padrão

p – Vida útil do projeto, em anos

P – Peso de um eixo simples

$q(t)$ – Fluxo ou volume de tráfego

S – Velocidade média de tráfego

$T_{acumulado}$ – Tráfego total acumulado de projeto para cada categoria de veículo por sentido

$TMDA_p$ – Tráfego médio diário anual para categoria de veículos pesados

W – Condições húmidas

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento da dissertação

As infraestruturas rodoviárias em serviço, com o crescente desenvolvimento da economia angolana, tendem a requerer uma maior atenção no que diz respeito às medidas de planeamento das ações de manutenção e reabilitação. Isto é, as condições climáticas e o aumento das solicitações de tráfego, resultantes do aumento, em simultâneo, do número de veículos e das cargas por eixo criam as condições necessárias à progressiva degradação do pavimento ao longo do tempo. Desta forma, é necessário fazer um melhor controle do estado dos pavimentos, e assim, efetuar um planeamento atempado das possíveis ações de manutenção.

Para uma melhor eficiência no transporte rodoviário é relevante ter o máximo de informação possível sobre o tráfego rodoviário, bem como sobre as características do meio em que se inserem os pavimentos, sendo elas geológicas, geográficas, hidrológicas, entre muitas outras. Isto porque, o bom desempenho dos pavimentos depende de cada um desses fatores, que poderão atuar de forma coletiva ou intercalada ao longo do tempo providenciando condições de degradação dos pavimentos devidas à redução da capacidade resistente dos seus materiais, pondo em causa a segurança e a integridade física dos que sobre eles circulam.

Com o crescente desenvolvimento tecnológico é possível, simular o comportamento da estrutura do pavimento, aumentando-lhe a eficiência dos resultados assim obtidos, com a inclusão de dados atualizados provenientes das campanhas de avaliação do estado do pavimento ao longo da sua vida útil. Para este efeito, neste trabalho recorre-se à utilização do Building Information Modelling (BIM) que é um modelo de registo da informação da construção numa base de dados estruturada por objetos, já muito utilizada em diversas vertentes da indústria da construção, potenciando cada vez mais o desenvolvimento desta metodologia.

1.2. Âmbito e objetivos do trabalho

A presente dissertação centra-se na utilização de resultados de deflexão obtidos através de campanhas de avaliação estrutural de um pavimento rodoviário flexível em Angola em ambiente BIM, onde se procura a mostrar a importância da manutenção dos pavimentos para otimização do seu tempo de vida útil, assim como, o controle da quantidade de material utilizado para uma reabilitação. No entanto, procura-se mostrar até que ponto a informação referente a uma patologia pode ser colocada nessa base de dados virtual.

Uma vez que se trata de um país em crescente desenvolvimento, e sedento de se tornar numa grande potência mundial, sente-se a necessidade de ver as suas infraestruturas capazes de fazer jus às necessidades implicadas pelos sistemas de transporte rodoviário, exigindo um maior rigor e qualidade dos projetos, seguindo uma coerente regulamentação adaptada às suas condições.

1.3. Metodologia de investigação

A fim de satisfazer os objetivos e fazer jus às necessidades descritas anteriormente foram utilizados os resultados obtidos nas campanhas de avaliação do pavimento, implementados, em um ambiente BIM aplicado a um modelo estrutural, com recurso a um software de modelação para a obtenção de indicadores que permitam saber a qualidade do pavimento, para que estes elementos possam ser incluídos na base de dados, de forma a que se potencie um planeamento eficiente dos trabalhos de manutenção e reabilitação que venham a ser necessários no decorrer da sua vida útil. Contudo, é expectável que se possa garantir uma familiarização deste tipo de ambiente na vertente rodoviária, e de um modo particular, avaliar a viabilidade desta ferramenta no âmbito da sua capacidade de gestão e inclusão, potenciando melhores soluções.

Nesta vertente, foi necessário recorrer às seguintes estratégias de investigação e de trabalho:

- Recolha bibliográfica de estudos referentes à utilização de metodologias BIM em infraestruturas, tendo em conta o facto de ser uma metodologia pouco utilizada ao nível da construção horizontal.
- Recolha bibliográfica de dados normativos para a conceção de pavimentos flexíveis em Angola, bem como suas limitações.
- Recolha bibliográfica das metodologias de avaliação estrutural e funcional dos pavimentos rodoviários flexíveis.
- Levantamento das patologias existentes no país.
- Levantamento dos resultados relativos aos ensaios feitos no local.
- Os resultados obtidos são representados em modelos que permitem a sua visualização, assim como a informação das características físicas dos materiais.

1.4. Estrutura da dissertação

A estrutura da Dissertação contempla seis capítulos que procuram desenvolver o que foi descrito na metodologia supracitada. Desta forma, temos:

No primeiro capítulo, procura-se fazer um enquadramento do tema, definindo os principais objetivos, juntamente com a metodologia aplicada para os cumprir.

No segundo capítulo, procura-se fazer uma caracterização das infraestruturas rodoviárias, com maior ênfase nos pavimentos flexíveis, onde são descritas as tipologias, composição e estrutura. Tem-se em vista ainda as patologias mais correntes em pavimentos, bem como as diferentes metodologias de avaliação das mesmas.

O terceiro capítulo, consiste numa exposição da metodologia de dimensionamento de um pavimento rodoviário flexível em Angola, bem como dos elementos condicionantes à sua boa execução, nomeadamente o tráfego e as condições climáticas da região.

O quarto capítulo, consiste numa revisão do estado de arte da metodologia BIM, descrevendo os conceitos inerentes à metodologia, suas funcionalidades e padrões.

No quinto capítulo, faz-se uma descrição generalizada do caso de estudo. Posteriormente faz-se uma descrição da modelação do modelo estrutural associada ao caso em estudo, num ambiente BIM e são descritas as medidas necessárias para a completa definição dos elementos a colocar no modelo do software Autodesk Revit 2019.

No sexto capítulo são apresentadas as principais conclusões obtidas com a dissertação, são referidas as limitações verificadas, potenciais melhorias à metodologia proposta, bem como considerações acerca de desenvolvimentos futuros. E, por fim, apresenta-se a bibliografia.

2. CARACTERIZAÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS EM ANGOLA

2.1. Generalidades

No âmbito do desenvolvimento económico africano, em particular, Angola, surgiu a necessidade de se potenciar o projeto e planeamento das obras rodoviárias devido ao aumento do tráfego e das cargas por eixo associadas, que tornam a vida útil dos pavimentos rodoviários cada vez mais limitada.

Os pavimentos rodoviários, em geral, são constituídos por um conjunto de camadas horizontais, aplicadas sobre uma fundação, cujo objetivo primordial é garantir a sustentação das ações induzidas pelos veículos. Estas camadas devem garantir uma superfície segura e confortável que permita uma circulação confortável dos utentes.

Os pavimentos flexíveis são os mais utilizados por conseguirem se acomodar melhor às condições do terreno devido à sua elevada deformabilidade e constituição material. Dependendo do nível do tráfego as estruturas de pavimentos deverão apresentar maior ou menor espessura nas diferentes camadas ou melhor ou pior qualidade dos materiais constituintes, a fim de se conciliar a qualidade e durabilidade a uma maior economia na execução de estruturas de pavimentos.

2.2. Composição e estrutura do pavimento

Segundo o Glossário de Termos Técnicos Rodoviários (DNIT, 2017), o pavimento é a superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas, assentes sobre um semi-espaço considerado teoricamente infinito, destinada a resistir e distribuir à fundação os esforços verticais oriundos dos veículos, a melhorar as condições de circulação quanto ao conforto e segurança e resistir aos esforços horizontais, tornando mais durável a superfície de desgaste. Pode ser constituído por uma ou mais camadas, tendo, no caso mais geral, uma camada de desgaste e camadas de fundação. Cada uma destas camadas pode ser composta por várias camadas elementares.

Geralmente, os pavimentos, face à sua deformabilidade e aos materiais que os constituem, são classificados em três tipos, entre eles: pavimentos flexíveis, pavimentos rígidos e

semirrígidos. A opção entre um destes tipos de pavimento está associada à intensidade do tráfego, à resistência do solo de fundação, bem como, os materiais disponíveis naquela localização.

É expectável que um pavimento consiga satisfazer os requisitos para os quais foi concebido, nomeadamente estruturais e funcionais. Ou seja, que consiga garantir a capacidade de carga correspondente às solicitações a que foi preconizado, e que possa ter uma superfície que garanta o conforto, segurança e eficiência seguindo um padrão económico aceitável.

O pavimento flexível é aquele que as camadas superiores são em misturas betuminosas, sendo as camadas subjacentes às betuminosas e sobrejacentes à fundação em materiais granulares, conforme se pode verificar na Figura 2.1.

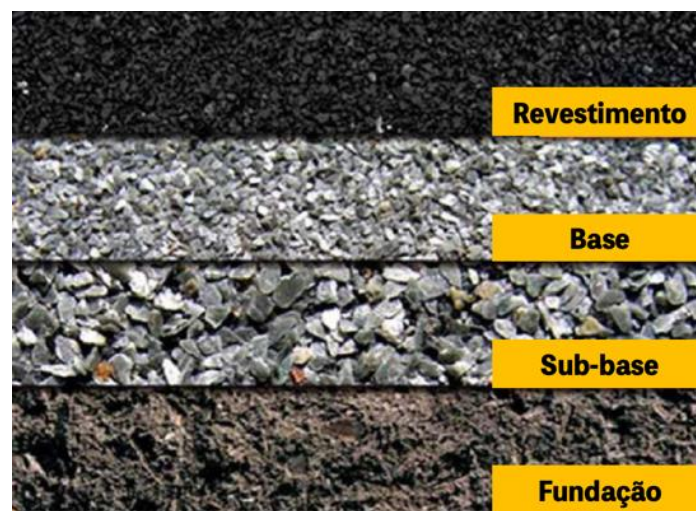


Figura 2.1 - Estrutura de um pavimento flexível (Moraes, 2017).

Na Tabela 2.1 são descritas as funcionalidades de cada uma das camadas constituintes de um pavimento flexível.

Tabela 2.1 - Composição e estrutura das camadas do pavimento flexível (Francisco, 2012).

Principais camadas		Função
Camadas de revestimento	Camada de Desgaste	<ul style="list-style-type: none"> - Adequada circulação do tráfego com conforto e segurança - Drenagem ou impermeabilização - Distribuição das tensões induzidas pelo tráfego
	Camada de ligação/regularização	<ul style="list-style-type: none"> - Camada estrutural - Regularizar a superfície da camada de base
	Base	<ul style="list-style-type: none"> - Camada estrutural - Degradação das cargas induzidas pelo tráfego
Camadas granulares	Sub-base	<ul style="list-style-type: none"> - Proteger durante a fase construtiva as camadas inferiores - Proteger a base da subida de água capilar - Drenagem interna do pavimento - Camada estrutural - Resistência à erosão
Solo de fundação	Leito do pavimento	<ul style="list-style-type: none"> - Evitar deformação do solo - Homogeneidade das características mecânicas da fundação - Plataforma para circulação durante a construção - Possibilidade de compactação das camadas sobrejacentes em adequadas condições
	Terreno da fundação	<ul style="list-style-type: none"> - Suporte do pavimento <ul style="list-style-type: none"> • São as suas características que condicionam o dimensionamento

Existe uma diferença notável entre o comportamento à deformação por parte de um pavimento flexível em relação a um pavimento rígido, tal diferença pode ser percebida, considerando a rigidez de uma placa de betão comparada à rigidez de um revestimento asfáltico, material com o módulo de deformação inferior, sofre deformações locais, enquanto que a placa de betão trabalha para absorver as cargas aplicadas como um todo, uniformizando o comportamento ao longo de toda a placa (Figura 2.2).

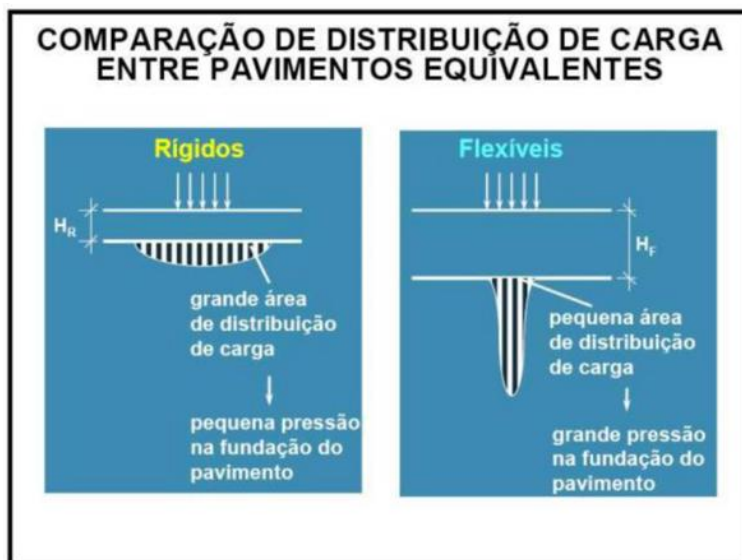


Figura 2.2 - Distribuição de cargas (Guedes, 2009).

2.3. Materiais

Os pavimentos são, genericamente estruturas como outras, estudadas no âmbito da engenharia civil, contudo, apresentam a particularidade de estarem dispostas em camadas sobrepostas e de serem constituídas por materiais com características mecânicas mais difíceis de quantificar contrariamente ao caso do betão e do aço. Certos materiais dos pavimentos apresentam características viscoelásticas (função da temperatura e dos tempos de aplicação de carga) como é o caso dos materiais betuminosos, ou função do estado de tensão como é o caso dos módulos de deformabilidade dos materiais granulares (Batista, 2010).

A solicitação de tráfego e as características das camadas do pavimento são de grande importância estrutural. Como tal, é necessário limitar as tensões e deformações na estrutura do pavimento através de uma combinação de materiais e espessuras das camadas constituintes. Desta forma, é necessário um bom conhecimento dos materiais usados para o seu correto dimensionamento.

2.3.1. Misturas betuminosas

As misturas betuminosas são constituídas por um conjunto de materiais granulares doseados e misturados em central com uma quantidade de ligante betuminoso previamente determinada. As misturas betuminosas fabricadas a quente em central podem ser aplicadas em camadas com características de desgaste, regularização, ligação ou base (Alves N. B., 2016).

O seu comportamento depende da temperatura que apresentam, do tempo de carregamento e das percentagens associadas à composição da mistura. Em presença de temperaturas mais altas, os betumes podem apresentar comportamentos viscoelásticos ou mesmo viscosos, afetando o desempenho das misturas.

O módulo de deformabilidade das misturas betuminosas indicado no catálogo da SATCC (SATCC, 1998) é apresentado na Tabela 2.2. Ainda assim, o manual refere que os valores a adotar de coeficiente de Poisson para as misturas betuminosas está entre 0,40 a 0,44, sendo o valor aconselhado 0,44. Contudo não se faz referência de nenhuma metodologia de cálculo para a previsão do módulo de deformabilidade em misturas betuminosas, nem como deve ser considerada a influência da temperatura na sua definição, nem se indicam os valores de velocidade de circulação dos veículos pesados para as quais foram definidos os módulos de deformabilidade indicados (Alves N. B., 2016).

É de referir que devido a essas condicionantes, os valores propostos por Freeme (Tabela 2.3) são os que devem ser tidos em consideração, desta forma serão utilizados os valores correspondentes propostos por Freeme no que diz respeito ao módulo de deformabilidade das misturas betuminosas (Alves N. B., 2016).

Tabela 2.2 - Módulo de deformabilidade das misturas betuminosas segundo a norma da SATCC (SATCC, 1998).

Tipo	d - Profundidade da camada relativamente à superfície (mm)	E (MPa)
Mistura betuminosa descontinua em camada de desgaste	$d \leq 50$	3000
	$d \leq 100$	4000
Mistura betuminosa contínua	$100 < d \leq 150$	5000
	$150 < d \leq 200$	6000
	$200 < d \leq 250$	7000

Tabela 2.3 - Módulo de deformabilidade das misturas betuminosas em função da temperatura (Freeme, 1983).

Tipo	d - Profundidade da camada relativamente à superfície (mm)	E (MPa)					
		Material em boas condições		Mistura rígida e seca		Mistura fendilhada	
		20° C	40° C	20° C	40° C	20° C	40° C
MB descontinua	$d \leq 50$	4000	1500	5000	1800	1000	500
	$100 < d \leq 150$	6000	3500	7000	4000	1000	500
	$150 < d \leq 250$	7000	5500	8000	6000	1000	500
MB contínua	$d \leq 50$	6000	2200	7000	4000	750	5000
	$100 < d \leq 150$	8000	5500	9000	6000	1000	750
	$150 < d \leq 250$	9000	7500	10000	8000	1000	750

2.3.2. Materiais granulares

O agregado para efeitos de pavimentação deve ser um material granular de origem natural, artificial ou reciclado. Estes materiais devem manter-se pouco alterados e não devem conter substâncias orgânicas ou quaisquer outras substâncias estranhas, tais como madeira etc..

As camadas granulares constituem muitas vezes o principal elemento resistente da estrutura. Elas devem resistir às ações induzidas pelo tráfego e redistribuí-las pela camada de fundação, de forma a que possam ser sustentadas por esta. Estas camadas trabalham, fundamentalmente, pelo atrito interno entre as partículas, fazendo com que a resistência ao desgaste por atrito dos agregados seja uma das propriedades indispensáveis para o seu bom funcionamento. Contudo, quando se colocam agregados com resistências mais baixas, provoca-se a produção excessiva de finos, que por sua vez, aumenta a deformabilidade das camadas. Na Tabela 2.4 (SATCC, 1998), são apresentados os módulos de deformabilidade dos materiais granulares utilizados, assim como o índice *California Bearing Ratio* (CBR) respetivo.

Tabela 2.4 - Módulo de deformabilidade a adotar em camadas granulares, (SATCC, 1998).

Módulos de deformabilidade para material granular					
Material	Índice	Tamanho	Descrição	Condições de suporte	
	CBR (%)	máximo (mm)		Sobre camada em cimento	Sobre camada granular
G1	-	37,5	material britado de excelente qualidade	250 – 1000 (450) ¹	150 – 600 (300)
G2	≥ 80,0 a 98% *	28,0	material britado	200 – 800 (400)	100 – 400 (250)
G3	≥ 80,0 a 98% *	28,0	material britado	200 – 800 (350)	100 – 350 (250)
G4	≥ 80,0 a 98% *	53,0	material natural (qualidade para camada de base)	100 – 600 (300)	75 – 350 (225)
G5	≥ 45,0 a 95% *	64,0	material natural	50 – 400 (250)	40 – 300 (200)
G6	≥ 25,0 a 93% *	64,0	material natural	50 – 200 (225)	30 – 200 (150)
EG4	-	-	Equivalente granular (Origem G5, G6)	-	200 – 400 (300)
EG5	-	-	Equivalente granular (Origem G7, G8)	-	100 – 300 (200)
EG6	-	-	Equivalente granular (Origem G9, G10)	-	30 – 200 (140)

¹ Valores entre parêntesis são os valores adotados na definição do catálogo de pavimentos THR4 (1996)

* valores de compactação relativos à densidade seca máxima obtida no ensaio AASHTO modificado

No catálogo da SATCC não se faz referência sobre o valor do coeficiente de Poisson a utilizar. Contudo, o valor de coeficiente de Poisson referente a estes materiais é 0,35 (Alves, 2016).

2.3.3. Solos de fundação

A fundação de um pavimento é dada pelo conjunto das camadas onde este está assente, incluindo, para além da camada de leito do pavimento, os terrenos subjacentes (CEPSA, 2006).

A capacidade de suporte da fundação sobre a qual assenta o pavimento. Depende, essencialmente da natureza e das propriedades dos solos existentes. Todavia, a rapidez com que se faz sentir a sua degradação depende das condições de drenagem e da proporcionalidade com que as cargas, vindas das camadas superiores, atuam sobre ela.

O solo de fundação é classificado em função do índice CBR do material, que representa as condições a que o solo de fundação se encontra. Na prática o índice CBR deve ser avaliado para as condições de teor de humidade e compactação mais condicionantes (Alves, 2016).

Para obtenção do módulo de deformabilidade do solo através de um valor do índice CBR é utilizada a expressão (1) proposta pela Shell (Shell, 1985). Com esta expressão é possível obter-se, de forma expedita, uma boa estimativa do módulo de deformabilidade.

$$E(MPa) = 10 \times CBR(\%) \quad (2.1)$$

2.4. Métodos de avaliação dos pavimentos rodoviários

Auscultação do pavimento

A auscultação do pavimento é essencial para os sistemas de gestão de pavimentos, os quais apenas serão eficazes se tiverem como suporte elementos técnicos propícios, necessários e íntegros, garantindo a verdadeira replicação do comportamento da rede rodoviária. Através desse levantamento é possível preconizar ações de conservação e, se necessário, ações de manutenção.

Desta forma, a auscultação do pavimento pode ser feita da avaliando: o Estado da Superfície do Pavimento, Textura Superficial, Capacidade Estrutural, Regularidade Longitudinal, Regularidade Transversal e Coeficiente de Atrito Transversal.

2.4.1. Inspeção visual do estado da superfície

A observação das patologias superficiais é feita com base em inspeções visuais, que apesar de serem métodos que não transmitem muita fiabilidade, dão uma apreciação imediata do estado da superfície do pavimento.

As observações podem ser visuais ou recorrendo a equipamentos de vídeo e fotografia. Na figura 2.3 observa-se a medição da profundidade da fissura durante a inspeção visual.



Figura 2.3 - Medição do estado superficial do pavimento (Nascimento, 2016).

A inspeção visual consiste num levantamento visual realizado por um técnico que se faz deslocar a pé ou por intermédio de um veículo com velocidades baixas, com o intuito de identificar as patologias encontradas durante o seu percurso.

Por se tratar de um método sem grande nível de precisão, por poder acumular uma série de erros peristálticos, visto depende de observador para observador, é necessário o uso dos catálogos de degradação que especifiquem a tipologia das degradações existentes no pavimento, por forma, a que não se faça confusão entre patologias visto ser a primeira apreciação que se pode ter do nível de degradação do pavimento.

Para a realização das inspeções visuais é necessário o uso de determinados equipamentos, entre eles, o odómetro, o dispositivo de identificação dos pontos quilométricos e o computador onde são registados os dados obtidos (Figura 2.4).



Figura 2.4 - Equipamentos utilizados na Inspeção Visual (Nascimento, 2016).

2.4.2. Textura superficial

A textura superficial é uma propriedade muito importante, por garantir ao pavimento a qualidade funcional, relativamente à resistência à derrapagem e à produção de ruído. Assim, é muito importante perceber que características a textura do pavimento pode apresentar, nomeadamente a microtextura, macrotextura, megatextura e irregularidades, que podem ser distinguidas de acordo com o comprimento de onda e a amplitude (Tabela 2.5).

Tabela 2.5 - Textura Superficial (Nascimento, 2016).

<i>Textura</i>	<i>Comprimento de Onda</i>	<i>Amplitude</i>
<i>Microtextura</i>	1µm a 0,5mm	1µm a 0,2mm
<i>Macrotextura</i>	0,5mm a 50mm	0,1mm a 20mm
<i>Megatextura</i>	50mm a 500mm	20mm a 50mm
<i>Irregularidades</i>	>0,5m	---

2.4.3. Coeficiente de atrito

O coeficiente de atrito permite avaliar a microtextura e determinar a resistência à derrapagem, sendo a sua determinação importante para que se possa garantir a segurança dos veículos. No entanto, para sua melhor determinação é necessário ter em conta que ele pode variar com os seguintes fatores:

- Desgaste dos materiais causados pela passagem dos pneus;
- Exsudação do betume da camada de desgaste;
- Descontinuidades da camada de desgaste resultantes do Fendilhamento;
- Diminuição da porosidade, devido à densificação da camada de desgaste;
- Acumulação de água nos cavados de rodeira;
- Derrame de combustíveis.

A correta avaliação do coeficiente de atrito processa-se por três metodologias distintas:

- Medição do atrito pontual, sem utilização do pneu;
- Medição do atrito longitudinal em contínuo, com o pneu bloqueado;

- Medição do atrito transversal em contínuo, com pneu livre mas havendo desvio da roda para existir resistência.

A medição do atrito pontual é feita recorrendo ao Pêndulo Britânico (Figura 2.5), este equipamento efetua a medição local do coeficiente de atrito, verificando a energia absorvida por atrito quando a superfície de borracha do pêndulo entra em contato com o pavimento. Simulando um veículo em travagem numa superfície húmida a uma velocidade de 50km/h (Nascimento, 2016).

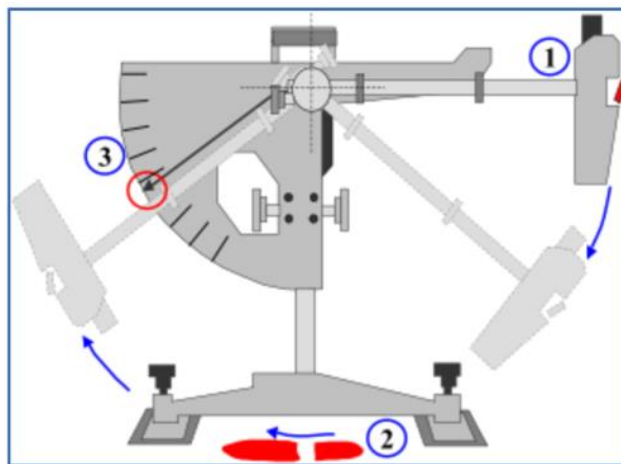


Figura 2.5 - Pêndulo Britânico (Valdo, 2015).

A observação em contínuo do atrito permite determinar o coeficiente de atrito durante a circulação do tráfego, a uma velocidade de 60 km/h permitindo obter valores que demonstram a situação normal de tráfego. Como tal, o equipamento utilizado para determinação do coeficiente de atrito em contínuo é o *Sideway Force Coefficient Routine Investigation Machine* (SCRIM) (Nascimento, 2016) apresentado na Figura 2.6.



Figura 2.6 – SCRIM (Nascimento, 2016).

O Grip-Tester (Figura 2.7) é um equipamento que permite determinar o coeficiente de atrito entre o pavimento e o rodado com base em condições normalizadas (Nascimento, 2016).



Figura 2.7 – Grip-Tester (Nascimento, 2016).

2.4.4. Profundidade de textura

O método mais utilizado na avaliação pontual da textura é o ensaio de medição de profundidade da macrotextura da superfície de pavimentos pela técnica volumétrica da mancha. Este ensaio consiste no espalhamento cuidadoso de um volume conhecido de pequenas esferas de vidro por um disco revestido de borracha, segundo uma área de geometria circular posteriormente medida. A divisão desse volume pela área média da “mancha” formada pelo espalhamento, avaliada com base na medição do diâmetro, dará a profundidade média de textura da superfície (Neves, 2009). Conforme se pode verificar na Figura 2.8.



Figura 2.8 – Ensaio da mancha de areia (Dynatest, 2018)

2.4.5. Regularidade longitudinal

A avaliação da regularidade do perfil longitudinal baseia-se em dois pontos, a geometria e os efeitos resultantes da irregularidade do pavimento.

De acordo com a geometria, mede-se a diferença altimétrica entre o pavimento e o perfil preconizado em projeto.

Quanto aos efeitos resultantes da irregularidade do pavimento, determinam um conjunto de defeitos no pavimento que provocam perturbações nos veículos. Podendo estes ter um elevado comprimento de onda e uma baixa frequência, e/ou vice-versa.

A análise da regularidade longitudinal pode ser avaliada por intermédio de um Perfilómetro Laser. Este faz o levantamento do perfil do pavimento através de sensores que não estabelecem contato com a superfície. O resultado deste ensaio consiste num perfil da superfície. Possibilitando a determinação do Índice de Irregularidade Longitudinal (IRI – International Roughness Index) (Figura 2.9), que é um modelo matemático que permite exprimir o perfil longitudinal da estrada ao longo do rodado, representando as vibrações induzidas pela irregularidade da superfície (Nascimento, 2016).



Figura 2.9 - Perfilómetro Laser e ensaio IRI (Nascimento, 2016).

2.4.6. Regularidade transversal

A avaliação da irregularidade transversal consiste na obtenção do perfil transversal do pavimento em projeto. O objetivo primordial é verificar a inclinação transversal do perfil, comparando-a com a estabelecida em projeto, de modo a perceber a evolução do pavimento em relação aos danos que possam ter surgido depois da compactação, nomeadamente, deformações plásticas e assentamentos diferenciais. Esta análise pode ser feita com o auxílio de equipamentos de referência geométrica simples ou recorrendo a equipamentos com tecnologia laser ou ultrassons.

Os equipamentos de referência geométrica simples permitem determinar a máxima deformação que ocorre na zona da passagem dos rodados dos veículos pesados e os equipamentos de tecnologia a laser e ultrassons permitem determinar a profundidade máxima de cada rodela e uma área aproximada do perfil transversal de reperfilamento (Nascimento, 2016).

2.4.7. Avaliação baseada em inspeção visual (PCI)

A degradação da estrutura do pavimento é a maior problemática vivida ao nível do âmbito dos pavimentos rodoviários e aeroportuários, para quantificar esse problema, foi necessário criar um fator de ponderação que tivesse em conta o grau de afetação, a classe de dano, o nível da gravidade existente num determinado pavimento. Para tal, surgiu o conceito do PCI (Pavement Condition Index) que é um índice numérico que varia entre zero (0) para um pavimento em péssimas condições, até cem (100) para um pavimento em perfeitas condições. Para uma melhor diferenciação costuma-se representar em cor verde o PCI em ótimas condições e em cor vermelha o PCI em péssimas condições, conforme se pode ver na Figura 2.10.

De acordo com a *International Slurry Surfacing Association* (ISSA) o PCI de uma estrada recebe três tratamentos de preservação por um período de 25 anos a 2\$US/m² e permanecerá em condições durante todo este período por 6\$US/m². Caso a estrada não for tratada durante 11 anos e a preservação for usada como manutenção reativa, o custo será de aproximadamente 4\$US/m². Levar esse tempo para aplicar um tratamento geralmente leva à deterioração da estrutura de base da estrada, de modo a que o tratamento de manutenção reativa durará apenas 4 anos, posteriormente necessitará de um novo tratamento. Em comparação, se nada for feito por 12 ou mais anos, uma reabilitação completa será necessária a um custo de 12 a 16\$US/m² (Public Works Staff, 2012).

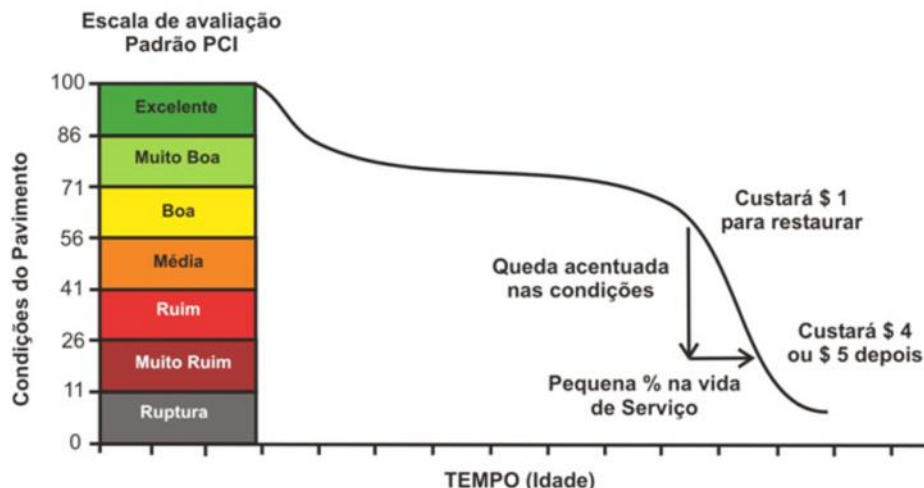


Figura 2.10 - Grau de qualidade do pavimento (PCI) (de Moraes & Silva, 2013).

Logo, à medida que a qualidade do pavimento vai diminuindo, maiores serão os custos associados à manutenção/reparação do pavimento. Desta forma, é preferível que se tomem medidas de conservação durante a fase de projeto, se possível.

2.4.8. Avaliação da capacidade estrutural

A capacidade estrutural de um pavimento pode ser avaliada com base nas deflexões ou assentamentos verificados à superfície do pavimento, quando este é submetido a um carregamento. Avalia-se, assim, a capacidade estrutural do pavimento de todas as camadas constituintes e da fundação (Nascimento, 2016).

A capacidade estrutural do conjunto pavimento-fundação pode ser avaliada tendo em conta os seguintes parâmetros: o módulo de deformabilidade dos materiais de cada camada; a vida útil do pavimento condicionada pelo tráfego e condições climáticas, e a deformação vertical da superfície, através da deflexão (Nascimento, 2016).

A caracterização da capacidade estrutural do pavimento pode ser feita recorrendo a ensaios não-destrutivos. Estes ensaios são realizados com a utilização de determinados equipamentos como a Viga de Benkleman, o Defletógrafo Lacroix e o que será utilizado neste trabalho, Defletómetro de Impacto (FWD) (Nascimento, 2016).

O defletómetro de impacto (*Falling Weight Deflectometer*) (Figura 2.11) é um equipamento para ensaios de carga não destrutivos que aplica, na superfície do pavimento, uma carga de impacto resultante da queda de uma massa de uma determinada altura. Os deslocamentos

verticais da superfície do pavimento induzidos por aquela carga são medidos em vários pontos, através de geofones nela apoiados (Fontul, 2004).



Figura 2.11 – Defletómetro de Impacto do LNEC.

O FWD pretende simular o efeito de passagem de uma carga de uma roda à velocidade entre os 60 a 80 km/h sobre o pavimento (Fontul, 2004), obtendo-se a resposta do pavimento a essa ação. Para tal, é aplicada uma força de impacto do ensaio sobre um conjunto de amortecedores, que por sua vez, é transmitida à superfície por intermédio de uma placa metálica circular com diâmetros de 300 e 450 mm, de acordo com a norma ASTM D4694 - 96.

A massa, a altura de queda e o número de amortecedores pode ser modificado a cada ensaio. Os valores de deflexão são medidos por transdutores no local onde é aplicada a carga de impacto, em que o número de transdutores varia, habitualmente, entre 6 a 9 e o afastamento entre os mesmos varia de acordo aos objetivos estabelecidos para o ensaio (Figura 2.12). A recolha dos dados pode ser feita por intermédio de um computador de bordo existente no veículo rebocador.

Através da utilização de 4 alturas de queda diferentes e da variação do valor da massa cadente, podem obter-se forças de impacto entre 20 e 250 kN (Fontul, 2004).



Figura 2.12 – Geofones de um FWD.

É possível estabelecer intervalos de deflexões obtidas pelo FWD, para D1(central) e D7(mais afastada), nessa ordem de ideias, D1 será dada como uma característica da atual camada de desgaste e D7 será uma característica da atual camada de fundação. Dadas as especificidades são referidos os intervalos correspondentes de deflexão para as posições fixadas juntamente com as cores utilizadas do PCI (conforme se pode verificar na tabela 2.7 e tabela 2.8):

Tabela 2.6 - Intervalo de deflexões para D1 (característica da atual camada de desgaste).

Deflexão	Estado	Cor
>500	péssimo	Red
300-500	moderado	Yellow
<300	bom	Green

Tabela 2.7 – Intervalo de deflexões para D7 (característica da atual da fundação).

Deflexão	Estado	Cor
>35	péssimo	Red
25-35	moderado	Yellow
<25	bom	Green

2.5. Patologias dos pavimentos rodoviários flexíveis em Angola

Nesta seção procura-se apresentar as patologias mais correntes nos pavimentos rodoviários flexíveis em Angola, isto porque a rede viária angolana, em quase toda a sua totalidade, é composta por pavimentos flexíveis. Neste contexto, pretende-se assim, identificar as zonas mais solicitadas, nomeadamente as estradas nacionais, e o casco urbano da cidade de Luanda.

2.5.1. Deformação

A *deformação* é caracterizada por uma elevação ou depressão do pavimento relativamente ao seu nível estabelecido à priori. Dentro do âmbito das deformações existem quatro tipologias, entre as quais temos: as *rodeiras*, o *abatimento*, as *deformações localizadas* e as *ondulações*.

2.5.1.1. Rodeiras

As *rodeiras* são deformações verificadas na zona de passagem dos rodados dos veículos, apresentando-se de duas formas: *rodeiras de pequeno raio* e *rodeiras de grande raio*.

As *rodeiras de pequeno raio* são deformações transversais ao eixo da via, que surgem devido a misturas betuminosas com insuficiente resistência às deformações permanentes (a ligante betuminoso em excesso ou pouco rígido, deficiente qualidade dos agregados), ou devido à compactação insuficiente das camadas em geral, tráfego canalizado lento e temperaturas elevadas (Videira, 2014). Fatores que levam que se seja uma das patologias mais observadas na cidade de Luanda, merecendo algum destaque em relação às outras.

Esta patologia acontece nas camadas betuminosas, provocando uma deformação nas abas laterais, como se pode verificar na Figura 2.13.



Figura 2.13 - Rodeiras de pequeno raio (Torrão, 2015).

As *rodeiras de grande raio* são derivadas dos assentamentos na fundação, devido à baixa capacidade estrutural por parte das camadas granulares e do solo (Figura 2.14). Provocando deformações associadas às elevadas solicitações que nelas são impostas. A execução incorreta dos elementos de drenagem, e consequente deficiente drenagem da água do pavimento é um dos fatores do surgimento das *rodeiras de grande raio* (Nascimento, 2016).



Figura 2.14 - Rodeiras de grande raio.

2.5.1.2. Abatimento

O *abatimento* é uma deformação de extensão significativa, apresentando-se *longitudinal* ou *transversalmente* nos pavimentos flexíveis, tendo a sua génese nas camadas granulares e no solo de fundação.

Algumas causas que podem originar o aparecimento de abatimentos (Nascimento, 2016; Torrão, 2015).

O *abatimento longitudinal* (Figura 2.15) pode-se manifestar em duas situações distintas:

- Quando está junto à berma, é resultado da deficiente compactação dos taludes de aterro, da movimentação da água pela berma ou interface berma-pavimento, provocando a perda da qualidade estrutural das camadas granulares e/ou do solo de fundação.
- Quando está localizado ao longo do eixo, é resultado da movimentação da água por fendas longitudinais nas juntas de trabalho ao longo do eixo, provocando a perda de qualidade estrutural das camadas granulares e/ou do solo de fundação.



Figura 2.15 - Abatimento longitudinal.

O *abatimento transversal* (Figura 2.16) é característico da fraca compactação das camadas granulares, da deficiente capacidade de suporte do solo de fundação, do mau dimensionamento das camadas inferiores, da infiltração de água por fendas transversais e colapso de cavidades subterrâneas.

O abatimento transversal, tipicamente, ocorre em zonas de encontro entre pontes, viadutos, sistemas de drenagem transversal e em zonas de alternância entre trechos em aterro e trechos em escavação, após a entrada em serviço dos pavimentos rodoviários flexíveis.



Figura 2.16 – Abatimento transversal.

2.5.1.3. Deformações localizadas

As *deformações localizadas* (Figura 2.17) são mudanças do nível do pavimento, gerando alteamentos ou depressões, resultantes da baixa estabilidade das misturas betuminosas, reduzindo a sua capacidade de carga em relação às solicitações mais elevadas.

Este tipo de patologias está muito presente em zonas urbanas e tem uma grande tendência a aparecer após repavimentações que não tiverem em consideração a correção de patologias previamente existentes (Torrão, 2015).



Figura 2.17 – Deformações localizadas .

2.5.1.4. Ondulação

As *ondulações* (Figura 2.18) são deformações transversais que se fazem sentir com alguma frequência ao longo do pavimento.

Esta patologia pode ocorrer nas camadas de desgaste com revestimento superficial devido à distribuição deficiente do ligante e nas camadas de betão betuminoso devido ao arrastamento da mistura por excessiva deformação plástica, causada pela ação do tráfego. Se a deformação tiver origem na fundação, esta provoca ondulações suaves no pavimento (Nascimento, 2016). Isto pode ocorrer em Angola devido a solos argilosos expansivos.



Figura 2.18 – Ondulações (Alves T. S., 2007)

2.5.2. Fendilhamento

O *Fendilhamento* é uma patologia muito recorrente nos pavimentos rodoviários, aparentemente é o primeiro sinal de perda de qualidade dos pavimentos. Tem a sua origem na passagem repetida do tráfego rodoviário que, por sua vez, propicia a fadiga dos materiais betuminosos, provocando extensões de tração elásticas e/ou deformações plásticas nos materiais.

O Fendilhamento pode-se processar de forma isolada, múltipla ou em pele de crocodilo (exemplos na Figura 2.19 e Figura 2.20), propagando-se transversal ou longitudinalmente ou mesmo os dois casos em simultâneo. Numa primeira fase as fendas isoladas podem ser longitudinais ou transversais. Com o aumento da degradação, as fendas isoladas começam a propagar-se nas várias direções provocando ramificações que podem interligar-se dando origem ao fendilhamento múltiplo. Num estágio mais avançado isso origina aquilo a que se denomina por pele de crocodilo, podendo levar ao desprendimento de blocos.

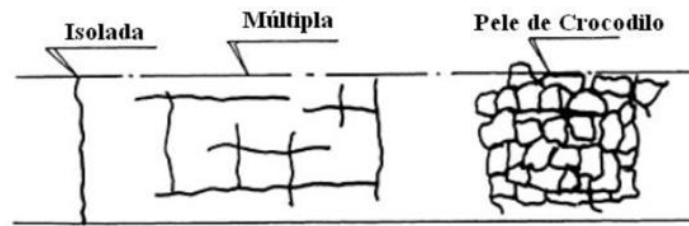


Figura 2.19 - Tipos de fendilhamento (Torrão, 2015).



Figura 2.20 – Fissuras isoladas, múltiplas e pele de crocodilo.

2.5.3. Defeitos da superfície

Ao agrupamento de degradações que incidem sobre camada de desgaste denomina-se *defeitos da superfície*. São discriminados por: desagregações superficiais, polimento dos agregados, ninhos e peladas.

2.5.3.1. Desagregações superficiais

As *desagregações superficiais* (Figura 2.21) baseiam-se no destacamento e descolamento de partes do material da camada de desgaste, devido ao baixo poder coesivo do ligante, à reduzida compacidade das camadas estruturais, à baixa qualidade dos materiais e às intempéries a que está sujeito o pavimento.



Figura 2.21 – Desagregações superficiais.

2.5.3.2. Polimento dos agregados

O *polimento dos agregados* (Figura 2.22) é resultante do desgaste dos agregados provocado pelo contato dos pneus com o pavimento, dando a eles um aspeto mais polido. Normalmente é característico de zonas em que a qualidade dos materiais empregues é posta em causa, por ser inadequada à intensidade do tráfego rodoviário. Pelas condições climáticas que contribuem para a erosão do material. E por outro lado, o uso excessivo de betume, em fase de construção, também pode gerar uma superfície demasiado lisa.



Figura 2.22 – Polimento dos agregados (Nascimento, 2016).

2.5.3.3. Ninhos

Os *ninhos* (Figura 2.23) são desagregações de forma redonda com génese na camada de desgaste, e que podem evoluir para as camadas betuminosas inferiores. Eles são evolução da *pele de crocodilo*, isto porque nos pontos de ligação das fendas se processa a desagregação da camada de desgaste, formando os ninhos. A ação do tráfego aumenta a evolução desta degradação, podendo agravar-se com a ação da água.



Figura 2.23 – Ninhos (Nascimento, 2016).

2.5.3.4. Peladas

As *peladas* são pequenas frações da camada de desgaste que se destacam da mesma. O surgimento desta patologia está associado ao subdimensionamento da camada de desgaste, à deficiente ligação entre a camada de desgaste e a camada de regularização.



Figura 2.24 – Peladas.

2.5.4. Movimento dos materiais

O movimento de materiais é o conjunto de patologias associadas ao movimento dos materiais constituintes das camadas betuminosas, granulares ou da fundação até à superfície do pavimento. Discriminam-se por *exsudação* e *subida de finos*.

2.5.4.1. Exsudação

A *Exsudação* é a migração do ligante em excesso da camada de desgaste betuminosa, até à superfície desta mesma camada. Pode ocorrer em zonas de maior concentração de ligante, nomeadamente juntas longitudinais e transversais em conjunto com a ação de tráfego de pesados e lentos, e também com ação intempérica. Sendo tanto mais grave quanto menos viscoso for o ligante, levando em consideração que a viscosidade diminui com o aumento da temperatura (Torrão, 2015). Esta é uma patologia é verificada com alguma frequência em Angola devido às altas temperaturas que se verificam no decorrer do ano que, por sua vez, se vão refletindo na diminuição da viscosidade do betume.



Figura 2.25 – Exsudação (Nascimento, 2016).

2.5.4.2. Subida de finos

A *subida de finos* (Figura 2.26) é a patologia resultante da movimentação da água desde a fundação ou camadas granulares, até à superfície do pavimento, arrastando consigo os finos existentes nestas camadas. Este movimento dá-se em pavimentos com camadas fendilhadas e com retenção de água no interior da fundação, devido aos elementos de drenagem e às condições climáticas, que, por sua vez, propiciam a existência de um nível freático elevado gerado pela ação do tráfego, que efetua uma compressão ao pavimento provocando a expulsão da água existente do interior do pavimento ou do solo de fundação para a superfície livre.



Figura 2.26 – Subida de finos.

3. DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

3.1. Generalidades

No sentido de facilitar o processo de dimensionamento de pavimentos na região da Comunidade de Desenvolvimento da África Austral (SADC - Southern Africa Development Community) foi criado pela *Southern Africa Transport and Communications Commission* (SATCC) o manual de dimensionamento, *Draft Code of Practice for Design of Road Pavements* (SATCC, 1998), em que se apresentam diversas tipologias de pavimentos rodoviários flexíveis novos sendo elas dimensionadas em função do tráfego, classe de fundação e das condições climáticas como será abordado em pormenor neste capítulo.

Na Figura 3.1 são apresentados os países pertencentes à SADC e que fazem a utilização deste manual.

Existem algumas restrições à utilização do manual SATCC, descritas no mesmo, dentre elas, são as seguintes:

- Só é considerado para pavimentos flexíveis, podendo ter camadas granulares de base e sub-base estabilizadas com ligantes hidráulicos;
- Está limitado ao dimensionamento de cargas por eixo padronizada com 80kN, um valor de tráfego de 30×10^6 ESAs, e o solo de fundação tem que apresentar no mínimo, um índice CBR de 2%;
- Para casos em que se extrapole um valor de tráfego superior a 30×10^6 , o manual estabelece que se devem adotar metodologias de outros países como o Reino Unido, Estados Unidos da América ou Austrália. E para os casos em que o índice CBR for inferior a 2%, devem ser utilizadas medidas curativas (estabilização com cal, remoção do material numa dada profundidade ou introdução de geo-materiais).

O manual (SATCC, 1998) foca-se apenas na origem da configuração da camada mais apropriada para formar a estrutura de pavimentação, porém existem condições inerentes que devem ser apresentadas se a pavimentação funcionar adequadamente:

- A estrada tem uma superfície impenetrável;
- A estrada tem bermas de pelo menos 1m de largura;
- A estrada tem uma inclinação transversal mínima de 2%.



Figura 3.1 - Países contemplados pelo o manual SATCC (SADC, 2012)

3.2. Tráfego

Uma estrada procura garantir a deslocação de veículos, pessoas e bens em condições de segurança, comodidade e economia. Desta forma, *tráfego(circulação)* é o conjunto dos veículos, dos passageiros e das mercadorias que circulam numa via de comunicação, consideradas em conjunto ou separadamente (Vocabulário de estradas e aeródromos, LNEC, 1962).

Se consideradas separadamente teremos, *tráfego de veículos*, *tráfego de passageiros*, ou *tráfego de mercadorias*.

O *tráfego rodoviário* (ação conjunta) é a principal ação que irá solicitar o pavimento. Contudo, a sua definição reveste-se sempre de muitas incertezas pois existe a necessidade de fazer projeções para o tempo de vida útil do pavimento (Afonso & Gomes, 2010). É de realçar que, o objetivo primordial de uma estrada é garantir a existência de uma superfície que permita a circulação de veículos com segurança, comodidade e, ainda assim, que seja económica e sustentável. O tráfego provoca ao longo do tempo, uma consolidação das camadas constituintes do pavimento que, por sua vez, gera assentamentos irreversíveis.

O tráfego é caracterizado pela sua *densidade*, pelo seu *volume* e pela sua *velocidade*.

3.2.1. Densidade de tráfego

A densidade de tráfego é o número de veículos que, num dado instante, ocupa a unidade de comprimento de uma via de tráfego. Exprime-se geralmente em veículos/km.

$$K(t) = \frac{q(t)}{S} \quad (3.1)$$

Onde:

$q(t)$ – Fluxo ou volume de tráfego (veículo/h)

S – Velocidade média (Km/h)

$K(t)$ – Densidade de tráfego (veículo/Km)

3.2.2. Velocidade de tráfego

A velocidade de tráfego é a rapidez com que um veículo se faz deslocar entre dois pontos pré-definidos.

A velocidade de tráfego influencia o correto desempenho dos pavimentos, nomeadamente no seu módulo de deformabilidade. Devido ao comportamento visco-elasto-plástico das misturas betuminosas, a velocidade de tráfego, ou de aplicação de cargas, influencia consideravelmente o desempenho do pavimento, exibindo módulos mais baixos para velocidades mais baixas e módulos altos quando as velocidades de circulação são altas. Desta forma a deformabilidade do pavimento perante velocidades baixas é mais que para velocidades mais altas do tráfego. Alguns investigadores referem que a extensão vertical máxima das camadas betuminosas provocada por um veículo pesado a 20 km/h é cerca do dobro da provocada pelo mesmo veículo a 80 km/h (Chen, Peng, & Wang, 2000).

Fazendo o cruzamento entre a densidade, o volume e a velocidade, é possível apresentar um conceito muito importante, a *capacidade*, que representa o número máximo de veículos que poderá passar por uma determinada seção durante um determinado período de tempo.

3.2.3. Volume de tráfego

O volume de tráfego é o número de veículos que passa numa dada seção da estrada durante um período determinado. Exprime-se geralmente em veículos por unidade de tempo. Podendo esta ser medida durante anos, meses, semanas, dias ou até horas.

Esta característica do tráfego é dinâmica em regiões que se encontram em desenvolvimento, aumentando anualmente, desta forma é necessário que seja feita uma previsão através de modelos adequados, que sejam representativos das características do tráfego futuro, nomeadamente, a capacidade estrutural do pavimento. Desta forma, é necessário estabelecer alguns conceitos que fazem uma estimativa dos *volumes de tráfego diários e horários*.

Volumes diários

Os volumes de tráfego variam ao longo de todo o mês, ao longo de cada semana, tornando-se mais expressivos entre os dias úteis e os fins-de-semana. Para caracterizar melhor esses picos, estabelece-se:

Tráfego médio diário anual (TMDA) - média dos volumes de tráfego medidos num determinado local nas 24 horas do dia e ao longo de 365 dias por ano, ou seja, é o número total de veículos que atravessou uma dada secção, dividido por 365 (Viegas & de Abreu e Silva, 2006).

Tráfego médio diário (TMD) – média dos volumes de tráfego medidos num determinado local nas 24 horas do dia, mas ao longo de um período inferior a um ano. Enquanto o TMDA é para um ano inteiro um TMD pode ser medido para seis meses, uma estação, um mês, uma semana ou até para dois dias. Um TMD é válido apenas para o período de tempo em que é medido (Viegas & de Abreu e Silva, 2006).

Volumes horários

Os volumes de tráfego diários sendo preponderantes para a definição de elementos necessários ao correto dimensionamento dos pavimentos, não são a única característica do tráfego rodoviário a ter em conta, desta forma, é necessário analisar que além das variações entre os dias da semana, também existem as variações entre as várias horas do dia, existindo picos de maior fluxo de veículos. Para tal, estabelece-se o conceito do volume horário de ponta (VHP) que permite avaliar as variações horárias de tráfego, geralmente, ao longo da manhã e ao final da tarde devido ao grande fluxo que se verifica nesses períodos, tendo em conta as deslocações casa-trabalho, e vice-versa. Estabelecendo-se a hora do dia com maior volume de tráfego (ponta horária).

3.2.4. Vida útil do projeto

A vida útil do projeto é o período durante o qual espera-se que a estrada possa suportar um tráfego em um nível satisfatório de serviço, sem necessitar uma reabilitação principal ou trabalho de reparação. No entanto, existe a necessidade de se efetuarem trabalhos de manutenção periódica para que não haja um fracasso prematuro e uma perda significativa do investimento inicial (SATCC, 1998).

A norma estabelece que o tempo máximo de vida destes pavimentos é de 20 anos e que o tempo mínimo deverá ser de 10 anos por questões económicas. Para os valores presentes nesse intervalo existem alguns fatores e incertezas que devem ser especificadas pelo projetista, no

entanto, habitualmente, estabelece um período de 15 ou 20 anos. A Tabela 3.1 fornece o auxílio necessário para a sua seleção.

Tabela 3.1 – Seleção do tempo útil do projeto (SATCC, 1998)

Segurança das informações do projecto	Importância / nível do serviço	
	Baixo	Alto
Baixo	10 – 15 anos	15 anos
Alto	10 – 20 anos	15 – 20 anos

3.2.5. Caracterização do tráfego

Quando se dimensionam os pavimentos rodoviários, tem-se em conta, apenas, as ações induzidas pelos veículos pesados, uma vez que, induzem o fendilhamento e a deformação das camadas do pavimento. O efeito causado ao pavimento por parte do veículo pesado depende da carga por eixo e da sua respetiva configuração.

São considerados veículos pesados, aqueles cujo peso bruto seja superior ou igual a 300 kN, incluindo autocarros e camiões com ou sem reboque ou semi-reboque.

No âmbito da verificação do dimensionamento dos pavimentos, é frequente utilizarem-se os efeitos do tráfego pesado acumulado ao longo do período de dimensionamento em termos de número equivalente de eixos padrão, sendo adotados, no SATCC, eixos padrão de 80 kN para pavimentos flexíveis e 130 kN para pavimentos semi-rígidos e rígidos.

3.2.6. Classes de tráfego

O período de dimensionamento considerado para a elaboração do catálogo SATCC é de 20 anos. Para efeitos de dimensionamento de pavimentos existe a necessidade de determinar a classe de tráfego associada ao eixo padrão.

Segundo (SATCC, 1998), é possível estimar o tráfego rodoviário com o auxílio dos dados de contagem e as cargas por eixo. Para tal é necessário:

- Determinar o tráfego médio diário anual (TMDA), no momento de abertura da nova estrada, utilizando os dados de contagem de tráfego disponíveis.
- Estimar o número de veículos pesados que corresponde ao $TMDA_p$.

- Estimar o volume de tráfego acumulado relativamente ao fluxo em cada via por categoria. Isto é, projetar a uma taxa de crescimento que será estimada entre os 2 e os 15% ao ano, escolhida em função de todos os indicadores disponíveis, incluindo dados históricos e tendências socioeconómicas.

$$N_{Projeto} = TDMA_p \times 365 \times \frac{(1 + i)^p - 1}{i} \quad (3.2)$$

onde:

$N_{Projeto}$ é número de passagens de eixos padrão;

$TDMA_p$ é o tráfego médio diário anual para cada categoria de veículos pesados no ano de abertura por sentido e na via mais solicitada;

i é a taxa média de crescimento anual, que em Angola é de 3%;

F é o fator de agressividade;

p é a vida útil de projeto, em anos.

- Por fim, obtém-se o número de eixos padrão através do produto entre o número de veículos de cada categoria pelo fator de agressividade (Expressão 3.4) que é a soma dos fatores de agressividade de cada eixo que o compõe. Como não é referido no manual nenhum valor médio do fator de agressividade representativo do espectro de veículos pesados a circular, é utilizada a expressão 3.3 para determinação do fator de agressividade de cada eixo. É de notar que este valor corresponde ao número equivalente de eixo padrão de 80kN.

$$F = \left(\frac{P}{80}\right)^n \text{ (kN)} \quad (3.3)$$

onde:

p é o peso de um eixo simples, em kN

n é o expoente de dano relativo.

$$N_{Projeto} \times F \quad (3.4)$$

Usualmente, estabelece-se o valor de 4 para o expoente n , por ser aquele que está associado a cargas pesadas sobre eixos. Contudo, o valor é influenciado por vários fatores e para tal é estabelecida na Tabela 3.2 com os valores de expoente n para cada configuração do pavimento.

Tabela 3.2 - Expoentes recomendados (SATCC, 1998).

Base/Sub-base de Pavimentação	Nº recomendado
Granular/Granular	4
Granular/Cimentado	3
Cimentado/Cimentado	4,5
Betuminoso/Granular	4
Betuminoso/Cimentado	4

Somando o número acumulado de eixos-padrão, de todas as categorias de veículos, conhece-se o número total de eixos padrão de todo o espectro de tráfego que irá solicitar o pavimento durante toda a sua vida útil. Desta forma, define-se a classe de tráfego (Tabela 3.3) medida em Eixos-Padrão (*Equivalent Standard Axles* - ESAs).

Tabela 3.3 – Classes de tráfego (SATCC, 1998).

Designação de classe de tráfego								
Limites de tráfego (milhão ESAs)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
	< 0.3	0.3-0.7	0.7-1.5	1.5-3	3-6	6-10	10-17	17-30

3.3. Classes de fundação

Além da carga de tráfego, a resistência dos solos de fundação é um fator preponderante no bom dimensionamento dos pavimentos. Para tal, pressupõe-se que sejam avaliadas e classificadas as características do terreno. Tipicamente, utiliza-se o *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) que é provavelmente o dispositivo de teste mais eficaz para a construção de estradas, sendo um indicador simples, rápido e direto da condição do material que pode ser usado desde o

levantamento inicial do local até o controle da construção. Ele segue a norma ASTM D6951-09, é possível avaliar a sequência, espessura e o índice de suporte *in situ*, de uma camada de material, podendo ser feito até profundidades que rodam os 90 cm.

Contudo, o Manual SATCC (SATCC, 1998) estabelece uma classificação do solo através do ensaio *California Bearing Ratio* (CBR), conforme se pode verificar na tabela seguinte:

Tabela 3.4 – Classes de fundação (SATCC, 1998).

Designação de classe de subsolo						
Limites do subsolo	S1	S2	S3	S4	S5	S6
CBR (%)	2	3 – 4	5 – 7	8 – 14	15-29	30+

O CBR que permite obter o valor da capacidade resistente do solo do leito do pavimento em percentagem. Desta forma, se a capacidade resistente do subleito for sobrevalorizada (mais fraca do que o previsto), pode-se incorrer a falhas prematuras, caso contrário, teremos uma camada mais espessa do que é suposto. Para melhor definição deste parâmetro, o manual SATCC, tem algumas especificações descritas na Tabela 3.5 que devem ser consultadas previamente à classificação da Tabela 3.4 para a correta avaliação do índice CBR.

Tabela 3.5 - Especificações para estabelecimento do índice CBR (SATCC, 1998).

Condições do solo de fundação	Condições das amostras nos ensaios de CBR laboratoriais
Em alguns períodos ocorrem situações de saturação (época de chuvas, zonas com nível freático alto e potenciais zonas de inundação)	CBR a 100% de compactação para as condições ótimas (AASHTO T-99). Valores de CBR obtidos após 4 dias embebido em água
Ocorrência de situações de saturação pouco provável, mas épocas com maior humidade podem ocorrer	CBR a 100% de compactação para as condições ótimas (AASHTO T-99). Valores de CBR obtidos sem embebição em água
Condições secas (nível freático baixo)	CBR a 100% de compactação para as condições ótimas (AASHTO T-99). Amostras são posteriormente secas até se obter o teor de água de projeto. Valores de CBR obtidos sem embebição em água

3.4. Definição da estrutura do pavimento em função da humidade

O catálogo da SATCC (SATCC, 1998), inclui estruturas de pavimentação específicas para regiões secas e húmidas, por forma a simplificar a seleção dos pavimentos apropriados. Deste

modo, são apresentados dez gráficos, no seu anexo, que possibilitam uma primeira abordagem da possível estrutura do pavimento a adotar. Para tal, estipula duas denominações distintas:

- condições secas (D);
- condições húmidas (W).

Estas subdividem-se em cinco grupos diferentes, enumeradas de 1 a 5. Conforme se pode verificar na Tabela 3.6. Contudo, para a escolha da região climática em função das condições de precipitação da região é indicada a Tabela 3.7.

Tabela 3.6 - Tipologia de estruturas disponíveis no catálogo SATCC (SATCC, 1998).

Tipologias de estruturas previstas no catálogo de estruturas		
Designação do catálogo	Solução estrutural	Observações
D1 & W1	Combinação de camada de base granular e camada de sub-base granular	Base e sub-base em material natural ou britado. Pode-se adotar material granular do tipo drenante (pedrapleno) se apropriado.
D2 & W2	Combinação de camada de base granular e camada de sub-base estabilizada	Base em material natural ou britado. Sub-base estabilizada com cimento, com cal (até classe T2) ou com emulsão betuminosa (até classe T4)
D3 & W3	Combinação de camada de base e sub-base estabilizada com cimento	Base tratada com cimento ou com emulsão betuminosa até classe T3. Sub-base estabilizada com cimento, com cal (até classe T2) ou com emulsão betuminosa (até classe T4)
D4 & W4	Combinação de camada de base em misturas e sub-base granular	Base em misturas betuminosas a quente fabricadas em central.
D5 & W5	Combinação de camada de base em misturas e sub-base estabilizada com cimento	Base em misturas betuminosas a quente fabricadas em central. Sub-base estabilizada com cimento, com cal (até classe T2) ou com emulsão betuminosa (até classe T4)

Os fatores que terão influência na seleção, exceto as amplas considerações climáticas, também incluem regimes de drenagem e manutenção que foram antecipados para a estrada. É um fato básico que, para qualquer estrada, o ingresso frequente de água nas camadas de pavimentação resultará na deterioração indesejável sobre o tráfego. Onde a taxa e o grau de deterioração também dependerão do nível de tráfego (SATCC, 1998).

Na Tabela 3.7, estabelecem-se os critérios de dimensionamento da região climática em função da humanidade presente na região. No entanto, a norma (SATCC, 1998) prevê que em regiões predominantemente secas a seleção de estruturas de pavimentação onde a precipitação média anual é inferior a 250 mm e não haja a probabilidade do ingresso de humidade devido a fatores como acumulações significativas de água em áreas planas, primaveras subterrâneas, ou outras condições prejudiciais. E no caso das regiões de chuvas altas, onde a chuva é uniformemente distribuída ao longo do ano e as condições da estação chuvosa não são bem definidas, deve-se verificar a não existência de períodos que levarão ao ingresso de humidade na pavimentação. Deve ser observado que períodos longos de chuva fraca (ou nevoeiro pesado), com um tráfego de camiões pesados, pode causar sérios prejuízos nas superfícies finas principalmente.

Caso se verifique que é improvável que nas regiões que possuam incidência de chuva menor que 500 mm por ano devem ser consideradas como regiões secas para fins de projeto.

Tabela 3.7 - Critério de dimensionamento da região climática em função da humidade na região (SATCC, 1998).

Região climática	Precipitação média Precipitação média anual (mm)	Observações
Seca	< 250	Não se preve a ocorrência de situações que levem a um aumento do teor de humidade dos solos (ex. inundações, proximidade de linhas de água)
Húmida	> 500	Preve-se a ocorrência de situações que levem a um aumento significativo do teor de humidade dos solos

Região seca: Catálogo de estruturas para zona seca (D); Região húmida: é necessário definir as condições de drenagem e manutenção antes da escolha do tipo de solução estrutural

Para os casos que não estejam inseridos nas características apresentadas anteriormente, devem ser considerados como predominantemente húmidas. Para tal, existem fatores que têm influência na seleção apropriada da região, nomeadamente a manutenção e a drenagem, conforme se pode verificar na Figura 2.16.

Tabela 3.8 - Critério de seleção da região de dimensionamento em zonas húmidas, (SATCC, 1998).

Provisão esperada de drenagem	Nível esperado de manutenção		
	Bom, programado, defeitos consertados em tempo	Deficiência	
Bom, bem planejada, bem construída	D	Níveis de tráfego	
		Baixo, classe T1 ou T2	Alto, classe T3 ou mais
		D	W
Deficiência	Níveis de tráfego		W
	Baixo, classe T1 ou T2	Alto, classe T3 ou mais	
	D	W	
Nota: D e W indicam os projectos em regiões secas e húmidas no catálogo			

3.5. Drenagem

Os pavimentos rodoviários são infraestruturas que apresentam um desgaste progressivo durante a toda a sua vida. É necessário garantir um nível de qualidade que assegure as condições de conforto, segurança, economia e sustentabilidade.

Durante a construção da plataforma é preciso conceber uma superfície com o mínimo de perturbações possível. Deste modo, é necessário efetuar um plano de escavações e aterros que, consequentemente, altere as condições naturais de escoamento da água. Podendo ocorrer, quer ao nível superficial quer ao nível sub-superficial, ou até mesmo ao nível subterrâneo.

Os sistemas de drenagem das vias de comunicação são responsáveis por desviar do pavimento o curso dos caudais resultantes da precipitação e garantir a segurança dos utilizadores e a longevidade das infraestruturas, quer a implementar, quer já existentes (Batista, 2010).

Usualmente, a drenagem das vias de comunicação é caracterizada por duas formas: drenagem superficial e drenagem subterrânea (Batista, 2010).

3.5.1. Drenagem superficial

A drenagem superficial tem duplo objetivo: assegurar o escoamento das águas pluviais para fora da plataforma de circulação, e assegurar o restabelecimento das condições de escoamento das linhas de águas naturais intercetadas pela construção da via (Batista, 2010).

3.5.1.1. Sistemas de drenagem longitudinal

Para assegurar o escoamento adequado das águas pluviais para fora da plataforma de circulação são utilizados dispositivos e estruturas hidráulicas, denominados por sistemas de drenagem longitudinal, entre os quais temos: valetas de plataforma, valetas de bordadura de aterros, valetas de banquetas, valas de crista e de pé de talude, caleiras e coletores longitudinais.

Segundo o Vocabulário de Estradas e Aeródromos, estabelecem-se algumas noções:

- Caleira é o cano que se intercala num encanamento para permitir a sua limpeza.
- Coletor é o elemento de um sistema de drenagem destinado a recolher e a conduzir águas afluentes de outros elementos do sistema.
- Vala é uma escavação a céu aberto destinada a recolher e conduzir águas.

- Vala de crista é uma vala de forma regular, geralmente de pequenas dimensões transversais, construída ao longo da plataforma, para recolha e escoamento das águas dos taludes e da superfície final da terraplenagem ou do pavimento.

Os objetivos principais da drenagem longitudinal são:

- Assegurar a recolha e o escoamento das águas pluviais provenientes da plataforma;
- Assegurar a recolha e o escoamento das águas pluviais provenientes dos taludes evitando o seu acesso à plataforma;
- Assegurar a recolha e o escoamento das águas pluviais provenientes dos terrenos naturais a montante, evitando, quando for o caso, a possível danificação dos taludes;
- Assegurar que o escoamento se faça por forma a que as águas pluviais não venham a contribuir para a subida de eventuais níveis freáticos existentes, quando estes, por condições naturais, puderem vir a atingir níveis próximos dos da plataforma

3.5.1.2. Sistemas de drenagem transversal

A drenagem transversal está intrinsecamente ligada aos aspetos de natureza hidráulica relacionados com o estabelecimento de passagens hidráulicas (aquedutos e obras de arte), indispensáveis à manutenção de adequadas condições de escoamento dos cursos de água atravessados pela via.

Para restabelecer e dar continuidade ao escoamento natural dos cursos de água atravessados pela via de circulação, realiza-se um conjunto de obras que designamos por sistema de drenagem transversal – inclui as estruturas hidráulicas de travessia do tipo aquedutos, pontões e pontes, e ainda os coletores transversais e dispositivos de ligação e recolha das águas provenientes do sistema de drenagem transversal, conduzindo-as aos pontos de descarga final (Batista, 2010).

3.5.2. Drenagem subterrânea

Como se pode prever, um pavimento, por si só, não tem a capacidade de expulsar toda a água que nele se insere, consequentemente a existência deste elemento natural provoca inúmeras implicações ao nível da resistência, durabilidade e deformabilidade. No entanto, a drenagem superficial, tem maior relevância por ser o local de maior penetração de água nas estruturas do pavimento.

O dimensionamento de um pavimento adota a ideia de um pavimento completamente estanque a impermeável. No entanto, esta situação não se verifica uma vez que existem juntas de dilatação que podem ser mal seladas, bem como, a natural abertura de fendas por fadiga da camada de desgaste do pavimento. Assim, as camadas subjacentes devem ser suficientemente permeáveis no sentido de viabilizar a passagem da água. Posteriormente, esta deverá ser recolhida convenientemente e canalizada para fora do pavimento (Silva, 2009).

A crescente deterioração das camadas de desgaste, quer pela ação do tráfego quer pelas ações climáticas, influencia as quantidades de água que solicitam o pavimento na medida que aceleram o processo de abertura de fendas pelo que as quantidades de água que penetram tendem a ser sucessivamente maiores. Portanto, a rápida remoção da água é fundamental (Silva, 2009).

Na fase de projeto de pavimentos, a não previsão da necessidade de dispositivos de drenagem subterrânea em pavimentos a construir pode aumentar os custos iniciais da obra, contudo é muito mais benéfico a longo prazo, por evitar custos bastante elevados, associados à ruína precoce dos pavimentos obrigando a reparações em que tais custos não poderão ser desprezados.

Tal como para os sistemas de drenagem superficial, existem também dispositivos de drenagem subterrânea, nomeadamente os drenos subterrâneos, cuja função primordial é recolher e encaminhar as águas existentes no interior dos terrenos.

3.5.3. Dimensionamento de elementos de drenagem

É importante garantir uma superfície com boas características de drenagem para evitar a ocorrência de acidentes resultantes do fenómeno de hidroplanagem, perda de visibilidade e aparecimento de várias patologias ao nível da estrutura do pavimento.

Embora esteja implicitamente admitido que uma drenagem e manutenção apropriadas devam ser executadas durante a vida da estrada, e que a falta desses irá indubitavelmente ter um impacto negativo do desempenho ao longo prazo. Tais deficiências devem ser endereçadas com o intuito de reter o investimento feito na estrada (SATCC, 1998).

O manual SATCC (SATCC, 1998), estabelece que a água pode entrar na estrada como um resultado da chuva que penetra na superfície ou como resultado da infiltração de água no solo. No entanto, a superfície da estrada deve ser construída com uma inclinação para que escorra a água da chuva rapidamente para a prevenção de camadas submersas a esse nível. Os projetos dos pavimentos devem conter valas em correto funcionamento ao longo da vida útil da estrada.

A inclinação transversal é necessária para ajudar no escoamento da água para os elementos de escoamento longitudinal. A norma aconselha um valor de 3% para a via de trânsito e 4 a 6% para as bermas. Existem evidências de benefícios para o uso de inclinações nas camadas sucessivamente mais profundas à camada de desgaste (SATCC, 1998)..

Desta forma, a norma estabelece que o topo da sub-base deve ter uma inclinação de 3 a 4% e o topo do subsolo deve ter uma inclinação entre 4 a 5% (SATCC, 1998).

3.6. Condições climáticas

A condição climática é um fator preponderante a ter em conta no dimensionamento de pavimentos, como se pode verificar no subcapítulo 3.4. As mudanças de temperatura e a precipitação provocam diversas ações danosas que reduzem o período de vida, aumentam a rugosidade, provocam a subida de finos e, gradualmente vão levando à rotura do pavimento.

Estes fatores têm especial relevância em Angola por se tratar de um país localizado em uma zona tropical, contudo, apresenta um comportamento climático diferenciado em várias zonas do país. Isto deve-se ao fato de comportar três fatores distintos, nomeadamente a corrente fria de Benguela, ao longo da zona costeira na parte sul do país; apresenta um relevo considerável no interior e sofre a influência do clima desértico na zona do Namibe, a sudoeste do país.

O clima, em Angola, caracteriza-se por duas estações, nomeadamente época da chuva, de outubro a abril e o Cacimbo (época seca), de maio a agosto, sendo esta a época em que se atingem as temperaturas mais baixos durante o ano.

Os índices de pluviosidade, na zona costeira, decrescem de Norte a Sul, desde os 800mm até aos 50mm, com temperaturas médias anuais acima dos 23°C. Desta forma pode-se dividir em três grandes zonas (Figura 3.2):

- Zona Norte – caracterizada por apresentar grande pluviosidade e temperaturas altas;
- Zona Centro/Planalto Central – com temperaturas médias anuais mais baixas do que na orla costeira, a rondar os 19°C;
- Zona Sul – com amplitudes térmicas bastante elevadas dada a proximidade que se faz sentir com o Deserto do Kalahari e a influência das massas de ar tropical.

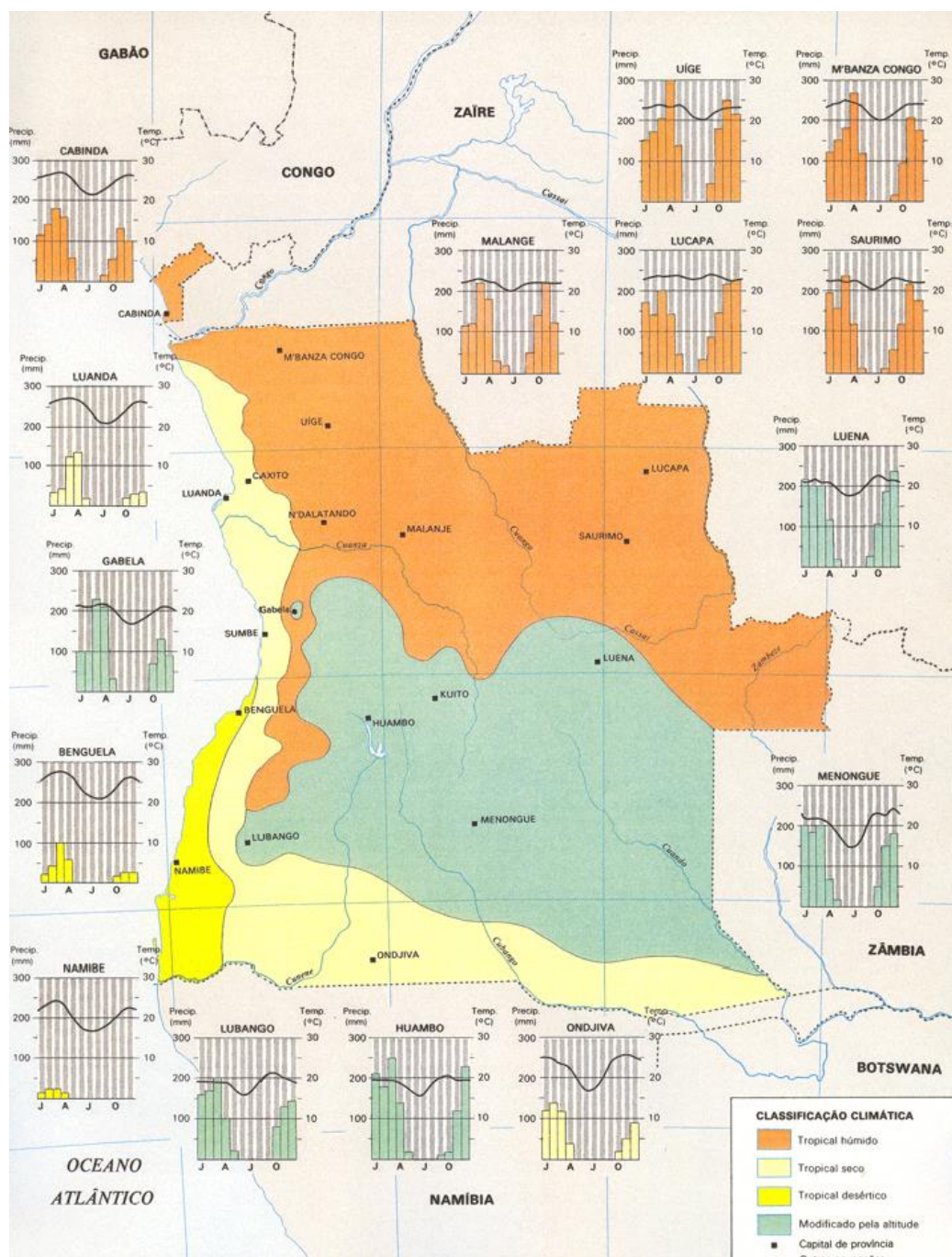


Figura 3.2 – Tipos de clima em Angola (Supraweb Angola, LDA, 2018).

Uma vez que, os pavimentos apresentam grandes áreas expostas ao intemperismo e ações do tráfego facilmente se desenvolvem patologias que colocam em causa a segurança, comodidade e bem-estar dos que nele se fazem circular. Nesta vertente, as variações de temperatura potenciam o desenvolvimento de pequenas aberturas nos pavimentos devidas às tensões que se geram, abrindo caminho para a entrada da água proveniente da precipitação, que por sua vez aumenta os

níveis de degradação progressivamente. Desta forma, as condições climáticas, de uma forma geral, traduzem-se no desempenho do pavimento, uma vez que a retração dos solos da fundação do pavimento e o empenamento das camadas betuminosas devido a variações de temperatura podem levar à perda de contacto com a fundação e, por isso, facilitar a introdução de água precipitada entre a parte inferior das camadas betuminosas e o leito do pavimento. A água pode penetrar nos pavimentos pelas juntas, aberturas e superfícies porosas pois, é muito difícil manter a água longe dos pavimentos, por muito tempo. Como as condições climáticas variam de estação para estação, de uma forma cíclica, os índices de produção de patologias/degradações seguem uma tendência periódica, com maiores danos e perdas de serventia nos períodos húmidos que nos secos.

4. BIM – BUILDING INFORMATION MODELLING

4.1. Generalidades

Com o aparecimento dos computadores, observou-se uma evolução no ramo informático, que, por sua vez, permitiu às mais variadas áreas automatizarem as suas atividades. Para o setor da arquitetura, engenharia e construção (AEC) não foi diferente.

Este avanço permitiu a génese de várias ferramentas de trabalho, nomeadamente o desenho assistido por computador (CAD - “*Computer Aided Design*”) e alguns programas de cálculo automático baseados em elementos finitos que se tornam na atualidade, as ferramentas mais utilizadas neste setor.

De fato, é possível a otimização dos sistemas de trabalho no setor AEC sempre que surgem novos desafios, tais como o aumento progressivo da complexidade dos projetos, a preocupação pela sustentabilidade e questões energéticas, a procura pela otimização dos custos, entre outros. Neste sentido tem vindo a existir a necessidade de desenvolver uma metodologia que permitisse uma maior participação das várias especialidades transversais a cada projeto.

Atualmente, o processo de entrega das instalações permanece fragmentado e depende de modos de comunicação baseados em papel. Erros e omissões de documentos em papel geralmente causam custos imprevistos de campo, atrasos e eventuais processos judiciais entre as várias partes de uma equipe de projeto. Esses problemas causam fricção, despesas financeiras e atrasos. Esforços para resolver tais problemas incluíram: estruturas organizacionais alternativas, como o método de construção de design; o uso de tecnologia em tempo real, como sites de projetos para partilha de planos e documentos; e a implementação de ferramentas CAD 3D. Embora esses métodos tenham melhorado a troca de informações em tempo útil, eles pouco fizeram para reduzir a gravidade e a frequência dos conflitos causados por documentos em papel ou seus equivalentes eletrónicos (Eastman, 2011).

A automação e a inovação são conceitos que a engenharia e a indústria da construção têm procurado atualmente para evoluírem e se manterem competitivas no atual cenário, em que se encontram. Contribuindo com o desenvolvimento desses conceitos, o *Building Information Modelling* (BIM) visa a união de forma eficiente dos setores de projeto e execução, juntos com os setores de orçamento, planeamento e controle de obras (Figura 4.1) (Brandão & Ferreira, 2015).

O BIM é mais do que um modelo para visualização do espaço projetado, é o modelo digital composto por um banco de dados que permite agregar informações para diversas finalidades, além do aumento de produtividade e racionalização do processo.

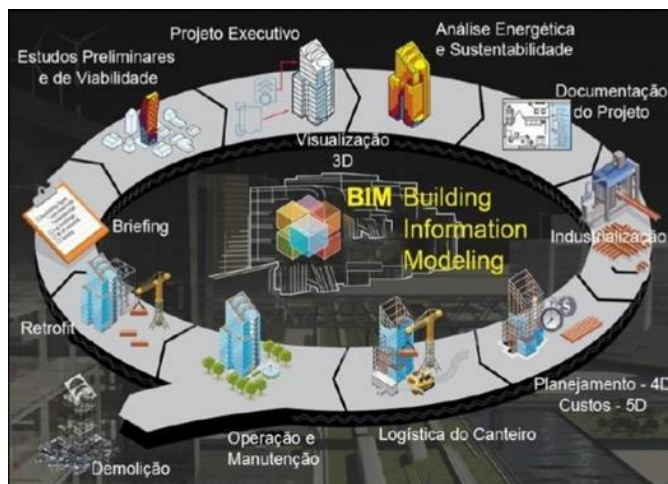


Figura 4.1 – Potencialidades do BIM. Adaptado de (Afsari, 2012).

As razões que levam o BIM a ter um maior destaque em relação às outras ferramentas, estão na facilidade com que é utilizada ao longo de todo o projeto permitindo a automatização do processo de criação da documentação, nomeadamente os desenhos de plantas, cortes, alçados. Por outro lado, é a capacidade de ter elementos construídos virtualmente antes mesmo de serem concebidos. Permitindo identificar possíveis incompatibilidades do projeto antes mesmo de ser construído, aumentando a qualidade da construção, e da tomada de decisões.

Para além disso o BIM contém elementos construídos virtualmente que podem ser usados de forma intuitiva nos diferentes projetos, permitindo identificar incompatibilidades antes da construção, aumentando a qualidade na construção e no processo de decisão

O BIM surge como a melhor estratégia de pensar ou trabalhar, que permite simular a realidade da construção ao mais pequeno pormenor através de um modelo digital, englobando todos os requisitos solicitados pelo requerente (dono de obra). Nela encontramos a modelação, os processos construtivos, o tempo de construção, os custos, planeamento de atividades, entre outras.

Um modelo BIM, em relação aos simples modelos tridimensionais, consegue transcender a mera componente tridimensional acoplando consigo toda uma base de dados interna onde é guardada a informação referente ao projeto, e com a qual, é permitido agir mutuamente de diversas formas e por diversos intervenientes. A modelação permite obter com elevado grau de rigor virtual, as características geométricas do objeto, por outro lado, além desses parâmetros geométricos, o objeto BIM também traz consigo características técnicas, nomeadamente, propriedades mecânicas, térmicas, acústicas, a sua massa, a disposição de armaduras, a

constituição dos materiais, informações sobre a localização espacial, disposição solar, informações do fabricante e, muito mais (Eastman, 2011).

Atualmente as ferramentas de desenho utilizadas pelo BIM deixaram de ser elementos manualmente inseríveis pelo utilizador, passando a elementos paramétricos em que, as suas propriedades só podem ser alteradas se for constituída uma nova instância do objeto, ou em casos mais extremos, a constituição de uma nova família de elementos.

Desta forma, enquanto que no desenho 3D CAD tradicional, todos os aspetos da geometria de um elemento devem ser editados manualmente pelos utilizadores, a forma e a geometria de montagem de um modelador paramétrico se ajustam automaticamente às alterações contextualizadas pelo utilizador (Eastman, 2011).

O modelo BIM além de contemplar as usuais duas dimensões (2D), pode chegar até às sete (7D). Isto é, vai desde as várias vistas dos desenhos em 2D, para as projeções desses mesmos desenhos em 3D. Com o processo paramétrico é possível detetar automaticamente as incompatibilidades do projeto, que por sua vez, podem ser interligadas à calendarização das atividades, nomeadamente o planeamento da construção passando à 4D. Assim que as atividades estiverem definidas associa-se os custos, comumente designados por orçamentação alcançando assim a 5D. A sexta dimensão (6D) estabelece análises de consumo energético, resultando em estimativas de energia mais precisas, logo ao início do projeto. Permitindo, em termos de sustentabilidade, potenciar uma construção mais “verde”. A sétima dimensão (7D) é utilizada pelos gestores de operação e manutenção durante o ciclo de vida da obra. Auferindo todas as informações necessárias para a devida gestão dos elementos de projeto. Nomeadamente, o estado dos componentes, especificações técnicas, manuais de operação, datas de garantia, que tornam a substituição de um determinado elemento muito mais eficiente (Figura 4.2).

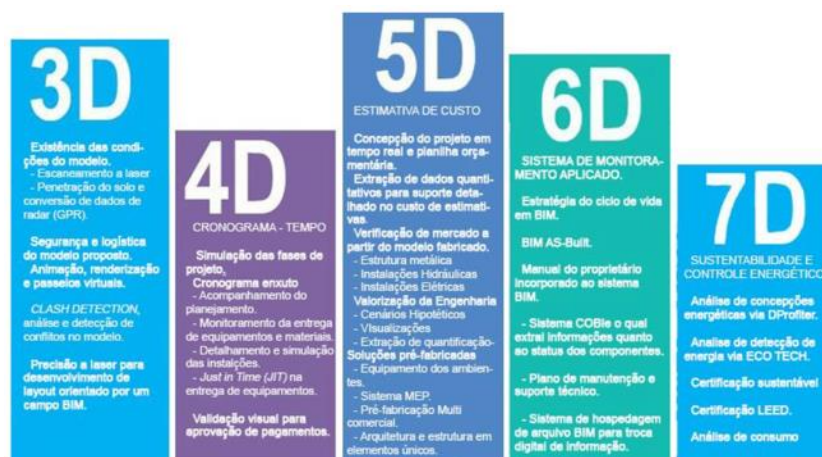


Figura 4.2 – Dimensões do BIM. Adaptado de (Waldeck Consulting, 2016).

4.2. Níveis do BIM

O conceito por detrás dos níveis do BIM (Figura 4.3) está associado à capacidade com que é feita a troca de informações, isto é, o “nível de maturidade” com que se processam essas trocas. Para tal, foram estabelecidos quatro níveis distintos de um intervalo de 0 a 3 (McPartland, 2014).

- i) **Nível 0** - É a expressão mais simples, em que não há, efetivamente, nenhuma colaboração. Depara-se com a inexistência de qualquer modelação da informação sobre a construção, nem a colaboração no domínio dos vários intervenientes do projeto. Usando-se apenas esboços de CAD 2D e as informações referentes aos elementos do projeto apresentam-se pela via eletrónica ou em papel;
- ii) **Nível 1** - Normalmente compreende uma mistura de 3D CAD para o trabalho concetual e 2D para a elaboração de documentação de aprovação estatutária e informações de produção. Contudo estes modelos não podem ser partilhados entre membros do projeto;
- iii) **Nível 2** - Distingue-se pelo trabalho colaborativo. A este nível todos os dados referentes ao projeto já são partilhados pelos vários intervenientes. O ambiente 3D é criado em modelos separados e montado para formar um modelo federado, sem perder a sua integridade. Qualquer software CAD deve ser capaz de exportar para um dos formatos de arquivos comuns. Nomeadamente, o IFC ou o COBie (*Construction Operations Building Information Exchange*), este último é um padrão internacional que relaciona as mais variadas abordagens de modelagem de informações de construção (BIM) para projetos, construções e gerenciamento de ativos construídos. Esta foi a meta mínima estabelecida pelo Reino Unido;
- iv) **Nível 3** - A este nível já se passa da colaboração para a integração, os envolvidos no projeto interagem em tempo real, permitindo análises complexas das diferentes fases do projeto. Esta etapa diferencia-se da antecessora porque estabelece uma única fonte de dados, onde estes são partilhados, colhidos e armazenados.

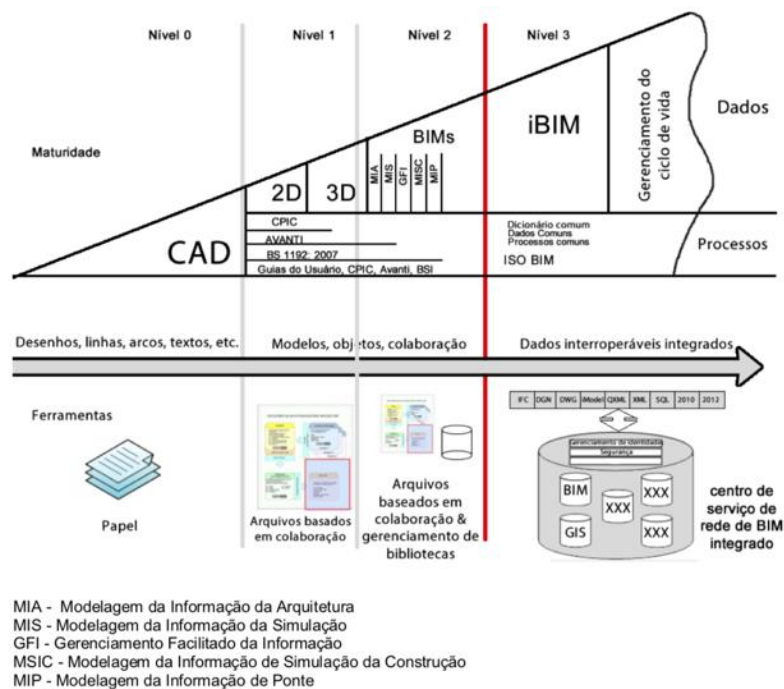


Figura 4.3 - Níveis do BIM. Adaptado de (Mordue, 2016).

4.3. LOD – Levels of development

Em 2008, o *American Institute of Architects* (AIA), publicou o seu primeiro documento sobre os “*Levels of Development*” (LOD), AIA E202TM-2008 Building Information Modelling Protocol (Sampaio, 2014), que estabelecia cinco níveis de desenvolvimento (LOD 100-500), para organizar as várias fases de desenvolvimento de um empreendimento em BIM, possibilitando detetar o nível de informação que cada etapa deve ter e o nível de fiabilidade dos dados. O LOD identifica qual a quantidade de informação que será obtida relativamente a um objeto modelo num dado momento. Esta quantidade de informação dos objetos de modelação cresce normalmente à medida que o projeto se aproxima da sua efetiva concretização (Esteves, 2012). De forma crescente, apresentam-se os diferentes tipos de LOD contidos num determinado modelo BIM:

- i) LOD 100 - O elemento do modelo pode ser representado graficamente através de um símbolo intuitivo, quase sem detalhes ou informações além da forma da construção, detalhes do terreno, entre outras informações menos esmiuçadas (Figura 4.4).

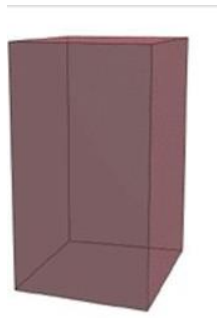


Figura 4.4 – LOD 100 (Soethe, 2017).

- ii) LOD 200 - Equivale à fase de anteprojeto, em que, apenas, se está a planear, em termos mais gerais, a dimensão, a forma, o volume, as quantidades, a orientação e localização. As informações que não sejam gráficas já podem entrar nesta fase do modelo (Figura 4.5).

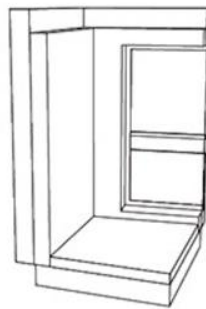


Figura 4.5 – LOD 200 (Soethe, 2017).

LOD 300 - Nesta fase, um determinado elemento do projeto já apresenta informação gráfica específica, começando-se a ver algum detalhe. É possível retirar desenhos de projetos estruturais, arquitetónicos, memórias de cálculo, maquetes (Figura 4.6).

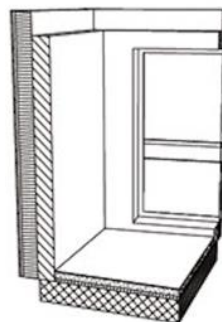


Figura 4.6 – LOD 300 (Soethe, 2017).

- iii) LOD 400 - Nesta fase, o elemento encontra-se no modelo capacitado para fabricação e montagem, já se trabalha com um planeamento, um cronograma financeiro, ou seja, tudo o que é necessário para a sua execução. Este LOD já pode ser utilizado pelos empreiteiros, durante o processo construtivo, por apresentar informações precisas da geometria, localização e quantidades (Figura 4.7).

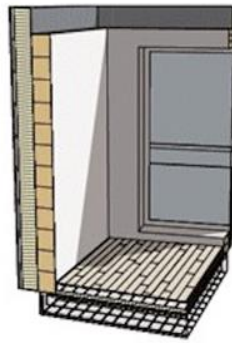


Figura 4.7 – LOD 400 (Soethe, 2017).

- iv) LOD 500 - Corresponde ao último nível, em que o modelo final apresenta características, tal e qual às construídas. Nesta fase já todos os detalhes relativos a custos, fornecedores e especificações de cada material estão inseridos no projeto (Figura 4.8).



Figura 4.8 – LOD 500 (Soethe, 2017).

4.4. IFC – Industry foundation classes

Segundo a *BuildingSMART International*, em 1995, a *Autodesk* juntamente com mais 12 empresas organizou uma aliança para provar as vantagens da interoperabilidade, denominada por “*Alliance for Interoperability*” que anos depois, passou a ser chamada de “*International Alliance for Interoperability (IAI)*”, devido à junção de outras empresas internacionais. Empresas estas

que estavam inseridas na indústria AEC, reunidas com o propósito de investir na evolução dessa indústria, chegando a três conclusões. Em primeiro lugar, a interoperabilidade era viável e tinha grande potencial comercial. Em segundo lugar, quaisquer padrões devem ser abertos e internacionalizados. E, finalmente, a aliança deve abrir os seus membros para as partes interessadas em todo o mundo. Aos 11 de Janeiro de 2008 a IAI mudou o seu nome para *buildingSMART* para melhor refletir a natureza e os objetivos da organização (BuildingSMART, 2018).

Enquanto as aplicações baseadas em modelos de geometria estão bastante enraizadas na indústria da construção (AEC – Arquitetura, Engenharia e Construção), a necessidade para a execução de um modelo de dados específico para a construção é um paradigma de execução complexa. As aplicações atualmente existentes como *Graphisoft ArchiCAD*, *Autodesk Revit*, *Bentley Architecture* e *Autodesk Architectural Desktop* têm modelos de dados internos proprietários, uma vez que são pedidos pelos fornecedores comerciais. Este fator leva à impossibilidade de comunicação das suas ricas bases de dados entre as aplicações, a menos que sejam desenvolvidos tradutores específicos. O IFC é um modelo de construção similar, mas não é proprietário. A especificação do IFC é um formato de dados neutro para descrever, trocar e partilhar informações (Figura 4.10) normalmente utilizadas no sector da construção (Fernandes, 2014).

Conforme se pode verificar pela Figura 4.9, a implementação de todas as versões do formato IFC com o objetivo de alcançar uma linguagem sólida e estável que permitisse o seu suporte por parte dos diferentes *softwares*.

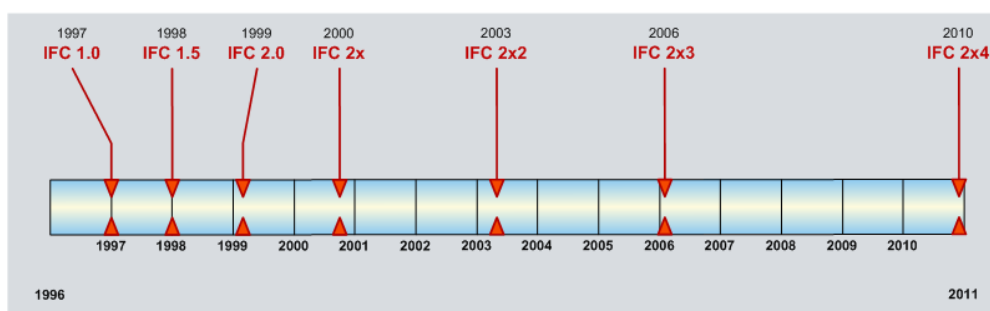


Figura 4.9 – Evolução cronológica do IFC (BuildingSMART, 2018).

Atualmente a versão mais recente IFC é o IFC 2x4 implementada em 2010.

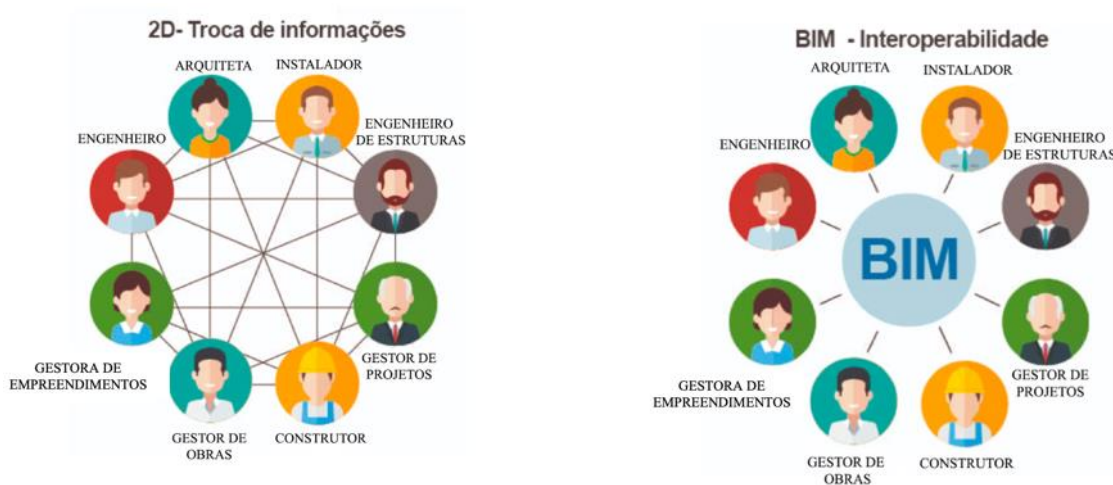


Figura 4.10 – Intercâmbio entre as várias especialidades (Andre, 2018).

O formato de arquivo *Industry Foundation Classes* (IFC) foi desenvolvido pela *buildingSMART*. Fornece uma solução de interoperabilidade entre diferentes aplicativos de software. O formato estabelece padrões internacionais para importar e exportar objetos de construção e suas propriedades (Autodesk, 2016).

Os elementos são geralmente codificados em três formatos (BuildingSMART, 2018):

- .ifc: formato de arquivo padrão baseado na norma ISO-STEP;
- .ifcxml: codificação baseada na linguagem XML;
- **.ifczip: arquivo comprimido de um dos formatos acima, que pode conter material adicional como PDF ou imagens.**

O IFC aperfeiçoa a comunicação, a produtividade, o tempo de entrega e a qualidade em todo o ciclo de vida de um edifício. Reduz a perda de informações durante a transmissão de um aplicativo para outro, com padrões estabelecidos para objetos análogos na indústria da construção. O seu formato apoia-se na troca de dados entre processos em vários domínios, tais como arquitetura, engenharia estrutural, construção e instalações (Ferreira, 2011).

Por se tratar de um formato aberto, não pertence a nenhum dos fabricantes de aplicações computacionais. Este é específico para a indústria da construção e permite a transição de informação entre especialidades e programas. A informação transferida diz respeito a objetos presentes no modelo, tais como pilares, vigas, paredes, lajes, entre outros, assim como informação referente a cada objeto (por exemplo a descrição do material) e ligações entre objetos. Fica assim garantido que todo o modelo criado é transferido sem perdas de informação (Digital Vision Automation Inc., 2009).

4.5. Legislação BIM

Atualmente, em Portugal, não existe nenhuma legislação nem orientação sobre o BIM, no entanto, já se podem encontrar várias iniciativas transversais às empresas, aos organismos de estado e às universidades, que procuram estudar boas práticas que possam vir a servir de orientação inicial para implementação do BIM, como sejam o BIMFORUM Portugal ou o grupo de trabalho da Plataforma Tecnológica Portuguesa da Construção (Lino, 2012).

Existe uma tendência internacional de se promoverem iniciativas nacionais que visem a criação das bases à obrigatoriedade do BIM em obras públicas e consequentemente na promoção privada. A título de exemplo, temos que na Finlândia, a *Finnish Transport Agency* estabeleceu como meta para 2014 solicitar que todos os seus grandes projetos de infraestrutura sejam executados em BIM. Na Dinamarca, a *Bygnings Informations Modelling* definiu que, a partir de 2012, os projetos públicos (ou com 50% de verbas públicas) com valor superior a 2,7 milhões são obrigatoriamente em BIM. Na Noruega, a Statsbygg, agência responsável por construir e gerir edificações públicas, usa BIM para todos os novos projetos. Na Holanda, desde novembro de 2011 que o BIM é obrigatório para projetos públicos com valor superior a 10 milhões. No Reino Unido, iniciou-se um programa público em 2012, tendo-se definido que até 2016 todos os projetos públicos deverão ser em ambiente BIM. Nos EUA, desde setembro de 2006 que o BIM é obrigatório em todos os projetos suportados pela GSA. Em Singapura foi definida a obrigatoriedade para projetos grandes até 2013 (Arquitetura) e 2014 (Engenharia) (Fernandes, 2014).

Todas estas iniciativas procuram a implementação do BIM como base obrigatória nas obras públicas. Em países como o Reino Unido, a Holanda, a Dinamarca, a Finlândia e a Noruega, em que foi estabelecido um período limite de dois anos para a implementação total do novo quadro de trabalho. De agora em diante, todos os países da União Europeia serão encorajados a implementar esta metodologia, com o objetivo de reduzir custos e erros de projeto, bem como modernizar o processo de construção (Fernandes, 2014).

4.6. BIM e projetos de infraestruturas

Nos últimos anos, o BIM tem se tornado um processo importante para a construção civil vertical, por dar suporte à formulação de estratégias que melhoram a produtividade e a rentabilidade. Os recursos para implantação de uma unidade de construção estão cada vez mais restritos, e a competitividade maior. Ou seja, um processo que consegue colaborar com a redução de erros, custos e tempo é altamente valorizado. Na área da construção horizontal, a utilização do

BIM está apenas a começar. O próprio termo BIM se direciona a projetos verticais. Se o processo BIM for aplicado a unidades de construção de infraestrutura, ele pode gerar documentos ricos em informações que facilitam e aumentam a eficiência do projeto (Raduns, 2013).

Uma pesquisa realizada pela *McGraw_Hill Construction* em 2012, com empresas que atuam no segmento de obras de infraestrutura, e que já inseriram o conceito de BIM em alguns de seus projetos. Foi questionado qual a percentagem de utilização do BIM no setor da infraestrutura, nos anos de 2009, 2011 e qual seria a previsão de utilização para 2013. A Figura 4.11 apresenta os resultados dessa pesquisa. A Figura 4.12 apresenta o resultado das principais vantagens verificadas com a implantação do BIM em obras de infraestrutura (Raduns, 2013).

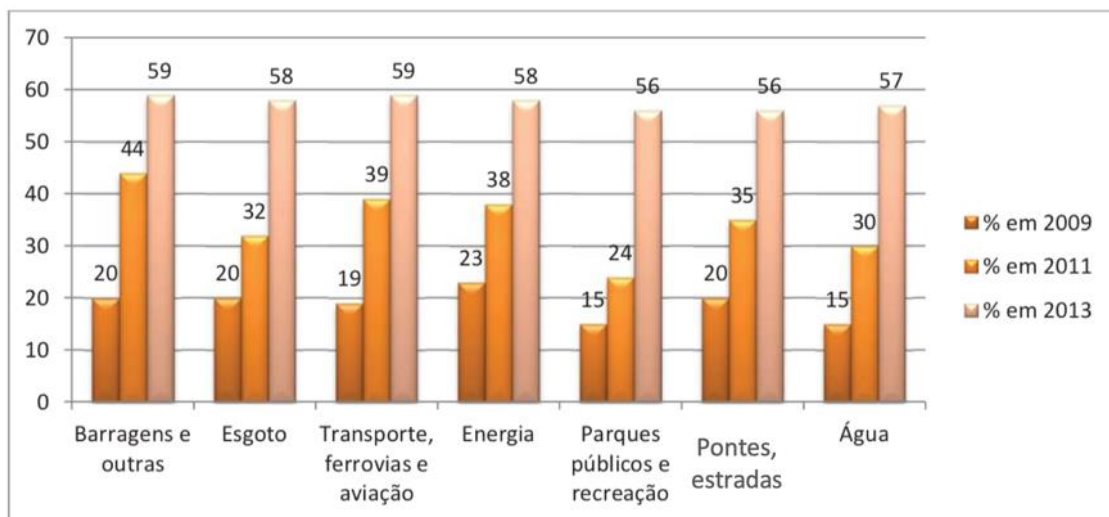


Figura 4.11 – Utilização do BIM em obras de infraestrutura (Raduns, 2013).



Figura 4.12 – Benefícios da utilização do BIM em obras de infraestrutura (Raduns, 2013).

A infraestrutura de transporte é um dos ativos públicos mais importantes. A maneira de gerir a infraestrutura de transporte varia muito, dependendo do tipo de infraestrutura e do país.

O BIM não é comum em infraestruturas de transportes, muitos conceitos BIM têm sido usados (especialmente a modelação paramétrica) e há um desenvolvimento no sentido da adoção de fluxo de trabalho. Quando utilizado corretamente, o fluxo de trabalho BIM pode extrema e positivamente afetar a eficiência e a qualidade dos projetos de infraestrutura de transporte (Matejka, 2014).

A implementação do BIM no mercado é benéfica, especialmente para o proprietário. É, portanto, de interesse do proprietário para apoiar a implementação do BIM no mercado. De todos os proprietários, o setor público (Estado) é aquele que tem maior possibilidade de afetação no processo de implementação do BIM no mercado. Embora o BIM ser orientado principalmente nos projetos de construção, é possível utilizá-lo também em infraestruturas de transporte. A adoção e propagação do BIM nesse tipo de projetos (principalmente em projetos rodoviários) pode causar um impacto positivo ao nível do mercado nacional. Isso pode levar não só a possíveis poupanças na conceção das infraestruturas, mas também ao nível dos meios de transporte (Matejka, 2014).

5. CASO DE ESTUDO

5.1. Descrição do pavimento

O caso prático em estudo trata de um troço experimental de um pavimento situado na região do Cuanza-Norte, uma província do interior Noroeste de Angola, que dista aproximadamente 250 km da cidade capital Luanda, banhada pelo rio Cuanza. O troço estudado apresenta uma extensão de 1,62 km (Figura 5.1).



Figura 5.1 – Troço experimental.

Um pavimento foi projetado inicialmente com via dupla em cada sentido, sendo posteriormente ajustado para via simples com plataforma pavimentada de 10,00 m (faixa de rodagem de 7,00 m, com bermas revestidas de 1,0 m e bermas não revestidas de 0,5 m) com uma inclinação transversal de 3%, e uma velocidade base de 100 km/h. Conforme se pode verificar no perfil transversal apresentado no Anexo A.

Concebido para um tempo de vida útil de 10 anos, com um volume de tráfego de $6,0 \times 10^6$ eixos padrão, sendo construído sobre um solo de fundação com um valor de CBR de 10%, correspondente ao percentil 10 dos resultados obtidos através da prospeção geotécnica. No projeto optou-se por uma solução estrutural em pavimento flexível devido à facilidade de obtenção de material na zona, bem como, por se tratar de um tipo de pavimento que responde melhor a situações de maior variabilidade de deformação. E com camadas de base e sub-base granulares para uma melhor drenagem, visto se tratar de um solo com elevado teor de plasticidade.

Recorrendo ao manual SATCC (SATCC, 1998), a classe de tráfego correspondente é a T5 (Tabela 3.9), de acordo com os resultados obtidos pelos ensaios de prospecção geotécnica, admite-se que a classe de fundação correspondente é S4 (Tabela 2.10). Os valores de CBR correspondem aos valores embebidos, obtidos para o teor ótimo de água a 100% de compactação relativo do ensaio AASHTO T-99.

A região do Dondo na província do Cuanza-Norte apresenta uma temperatura média anual do ar de 25°C e uma precipitação anual de 681mm (Climate-Data, 2018). É possível perceber que se está perante uma região húmida, conforme se verifica na Tabela 3.7. Assumindo que as condições de drenagem durante o período de vida útil da obra são deficientes, e a classe de tráfego é T5, então verifica-se que o dimensionamento deve ser feito pelo catálogo de pavimentos do tipo W (Tabela 3.8). Tendo em conta a opção de tipologia estrutural com camada de base e sub-base granular, segundo o catálogo W1 (Figura 5.2), a solução é destacada a vermelho.

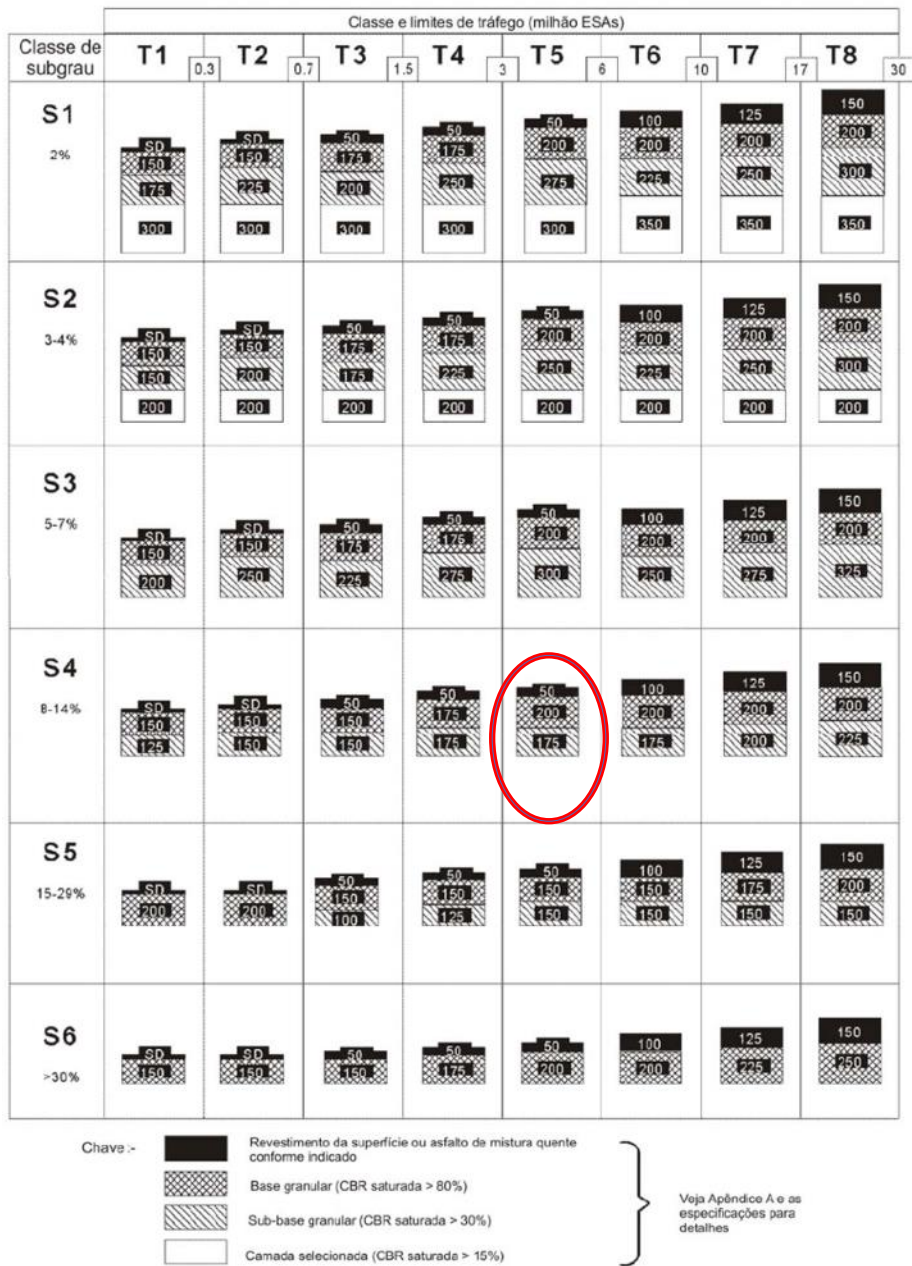


Figura 5.2 – Diagrama W1: Base Granular/Sub-base granular (regiões húmidas).

Como facilidade de nomenclatura, estabelece-se que as três fases relativas ao pavimento, passarão a ser denominadas por casos 1, 2 e 3. Onde o caso 1 (Figura 5.3), corresponde à fase de conceção do pavimento, o caso 2 (Figura 5.4) corresponde à primeira reabilitação, e o caso 3 (Figura 5.5) à segunda reabilitação.

Camada	Designação	e (cm)	
--------	------------	--------	--


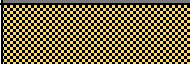


1	Camada de desgaste em mistura betuminosa contínua a quente	5,0	
2	Camada de base ABGE	20,0	
3	Camada granular de sub-base	17,5	
4	Solo de fundação de classe S4	∞	

Figura 5.3 – Estrutura do pavimento (caso 1).

Este pavimento apresenta no seu histórico duas reabilitações:

🚧 Caso 2 (Primeira reabilitação):

- Efetuou-se a remoção completa do revestimento da camada em mistura betuminosa;
- Ao nível da sub-base foi executada uma escarificação da base existente até à profundidade de 20,0 cm, seguida pela substituição de pelo menos 25%, em volume, do material da base existente por outro britado. As características granulométricas do material britado foram definidas em estudo prévio devendo este corrigir eventuais deficiências granulométricas do material de base existente e reduzir a sua plasticidade. Posteriormente, efetuou-se a execução de uma nova sub-base com 20,0 cm de espessura utilizando este material devidamente misturado;
- Execução da camada de base em ABGE (Agregado Britado de Granulometria Extensa) de 20,0 cm;
- Execução da camada de desgaste em betão betuminoso com espessura de 5,0 cm.


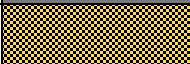


Camada	Designação	e (cm)	
1	Camada de desgaste em mistura betuminosa contínua a quente	5,0	
2	Camada de base ABGE	20,0	
3	Camada de sub-base granular melhorada	20,0	
4	Solo de fundação	∞	

Figura 5.4 - Estrutura do pavimento (caso 2).

✚ Caso 3 (Segunda reabilitação):

- Remoção completa do revestimento;
- Escavação e remoção completa do pavimento existente até 80,0 cm abaixo da cota da base;
- Recuperação da fundação do pavimento (subleito) com 60,0 cm de espessura, executado em camadas de 20,0 cm devidamente compactadas;
- Execução da camada de sub-base com 20,0 cm de espessura em material granular;
- Execução da camada de base em ABGE com 20,0 cm de espessura;
- Execução da camada de desgaste em betão betuminoso com 5,0 cm de espessura.


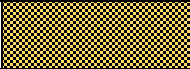



Camada	Designação	e (cm)	
1	Camada de desgaste em mistura betuminosa contínua a quente	5,0	
2	Camada de base ABGE	20,0	
3	Camada de sub-base granular melhorada	20,0	
4	Reforço de subleito	60,0	
5	Solo de fundação	∞	

Figura 5.5 - Estrutura do pavimento (caso 3).

Nota: Não foi possível apresentar a cronologia destes acontecimentos, por não ter sido disponibilizada esta informação, assim como a especificação da mistura betuminosa para cada uma das situações.

A avaliação estrutural do pavimento remete a que se precisa conhecer os módulos de deformabilidade de cada camada e do solo de fundação, desta forma consegue-se caracterizar melhor o pavimento existente.

O módulo de deformabilidade das misturas betuminosas indicado no SATCC (Alves N. B., 2016) é o definido na Tabela 2.2. Desta forma, para se ter em conta a ação da temperatura no pavimento utiliza-se a o módulo de deformabilidade da Tabela 2.3 em que se tem em conta o valor para a temperatura correspondente de 4000 MPa O manual indica que se devem adotar

valores de coeficiente de Poisson entre 0,40 a 0,44 em misturas betuminosas, sendo 0,44 o valor aconselhado. No caso de Portugal o coeficiente de Poisson é de 0,35 a 0,40.

O módulo de deformabilidade para os materiais granulares, nomeadamente as camadas de base e sub-base é definido na Tabela 2.4. O valor de coeficiente de Poisson recomendado é de 0,35 (Alves N. B., 2016).

Para obtenção do módulo de deformabilidade dos solos de fundação é utilizada a expressão (5.1) dando uma boa aproximação deste parâmetro em função do valor de CBR obtido que foi de 11. Obtendo-se um valor de 110 MPa que, tipicamente é um valor bastante aceitável para areias argilosas que pode chegar até ao dobro deste valor em função do grau de compactação apresentado.

$$E(\text{MPa}) = 10 \times 11 \approx 110 \quad (5.1)$$

Na Tabela 5.1 é apresentado um resumo de todos os valores estabelecidos anteriormente para os materiais das diferentes camadas.

Tabela 5.1 - Módulo de deformabilidade e coeficiente de Poisson das camadas.

	E (MPa)	ν
Camada de desgaste	4000	0,44
Base	400	0,35
Sub-Base	350	0,35
Solo de Fundação	110	0,35

5.2. Resultados experimentais

5.2.1. Ensaio com o Defletómetro de Impacto

É de destacar a importância dos ensaios efetuados com o Defletómetro de Impacto (FWD) neste estudo. Conforme referido em 2.4.8, o ensaio consiste na queda de uma massa a uma altura identificada a priori sobre um conjunto de amortecedores que posteriormente é transmitida a uma placa circular e depois ao pavimento. A placa utilizada neste estudo teve o diâmetro de 300 mm.

As deflexões foram medidas com recurso a sete geofones distanciados do centro da placa de carga da seguinte forma: D₁ (0,00 m), D₂ (0,30 m), D₃ (0,45 m), D₄ (0,60 m), D₅ (0,90 m), D₆

(1,20 m) e D₇ (1,50 m). A altura de queda e os pesos utilizados geraram uma carga equivalente a uma força de pico de 40kN.

O ensaio foi realizado ao longo de todo o pavimento em estudo, sendo os ensaios realizados a cada 500m, no entanto por questões logísticas foram executadas duas parcelas, sendo só utilizadas uma em cada ponto do ensaio.

Na Figura 5.6, é representado esquematicamente o mecanismo de funcionamento do defletómetro de impacto.

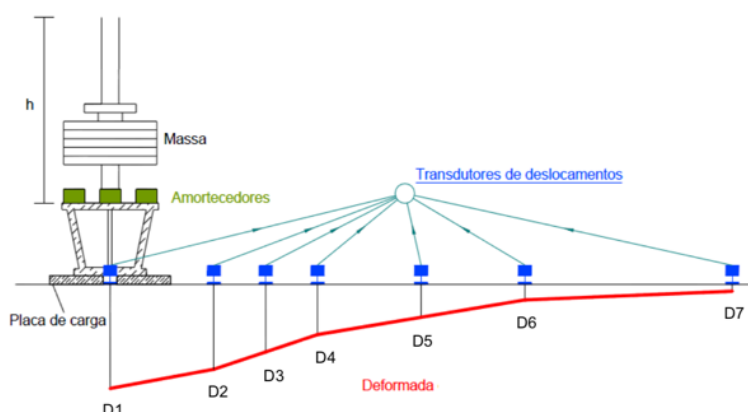


Figura 5.6 – Ensaio de carga com o Defletómetro de Impacto (Domingos, 2007).

O ensaio com o FWD possibilita a obtenção de bacias de deflexão (Figura 5.7) que traduzem o comportamento estrutural dos pavimentos. Estas bacias são usadas, através do processo de retro análise, para estabelecer o modelo estrutural, estimando os módulos de deformabilidade de cada camada que constitui o pavimento.

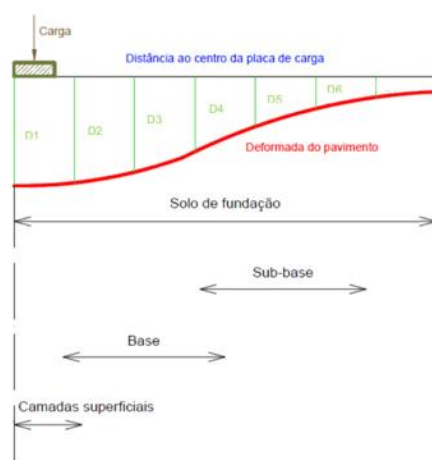


Figura 5.7 - Influência das diferentes camadas na bacia de deflexão. Adaptado de (Fontul, 2004).

O posicionamento dos sensores apresenta grande influência no ajuste das bacias teóricas e de campo, devendo ser escolhido em função da rigidez e das espessuras das camadas do pavimento. Em pavimentos espessos, o último sensor deve ficar mais afastado para possibilitar o registo das deflexões provocadas somente pela fundação (Borges, 2001).

Os parâmetros de deformabilidade elástica do pavimento obtidos por retro análise dos levantamentos defletométricos exercem grande influência no diagnóstico das condições estruturais do pavimento. Desta forma, é importante que se tenha conhecimento dos fatores que influenciam estes valores (Borges, 2001).

Os fatores que influenciam a magnitude das deflexões são (Borges, 2001):

- Fatores ambientais, tais como temperatura, humidade, principalmente da fundação;
- Modo de carregamento utilizado;
- Espessura e posição das camadas na estrutura do pavimento.

A medição da temperatura de ensaio é um parâmetro muito importante, essencialmente, na avaliação de pavimentos flexíveis, já que quanto menor for a temperatura, menores serão as deflexões registadas. Para se proceder a uma correta interpretação dos resultados para a análise do comportamento do pavimento, é necessário o conhecimento do valor da temperatura de ensaio. Visto que a força aplicada em cada ponto de ensaio não corresponde exatamente à força pretendida, é necessário proceder a uma normalização dos valores de deflexões para a força pretendida (Alves T. S., 2007), como será apresentado de seguida.

No decorrer do ensaio verificam-se pequenas variações das forças de pico aplicadas a uma determinada altura de queda, resultantes das características de deformabilidade do meio ensaiado, da presença de atrito no sistema de guiamento da massa cadente e à variação da deformabilidade dos amortecedores com a temperatura. Desta forma, realiza-se a normalização das deflexões para dirimir esses efeitos através da seguinte formulação:

$$D_n = D_m \frac{F_p}{F_m} \quad (5.2)$$

Onde:

D_n é a deflexão normalizada;

D_m é a deflexão medida;

F_p é a força padrão de normalização;

F_m é a força medida;

As deflexões medidas e normalizadas para uma força de 40 kN nas três fases de projeto em estudo são apresentadas a deflexão central D1 (Figura 5.8) e a deflexão mais afastada D7 (Figura 5.9).

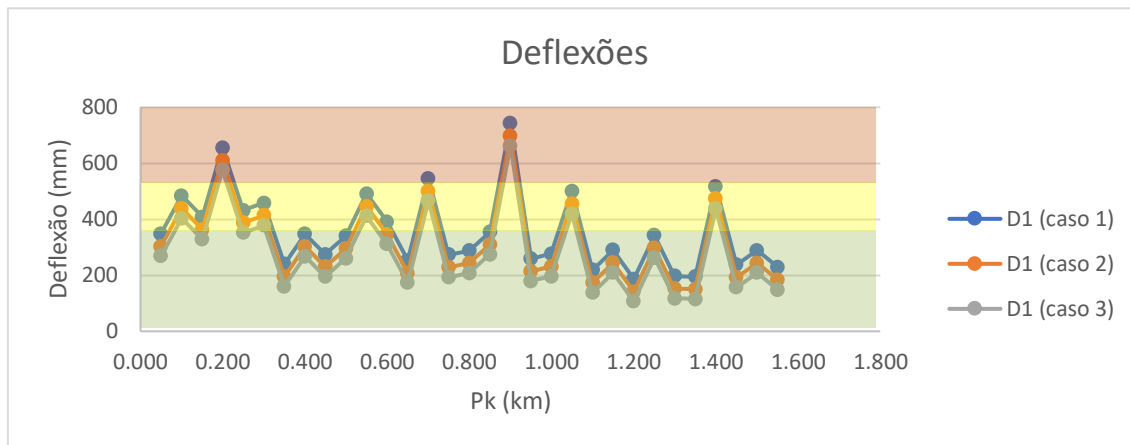


Figura 5.8 - Deflexões relativas à camada de desgaste (D1).

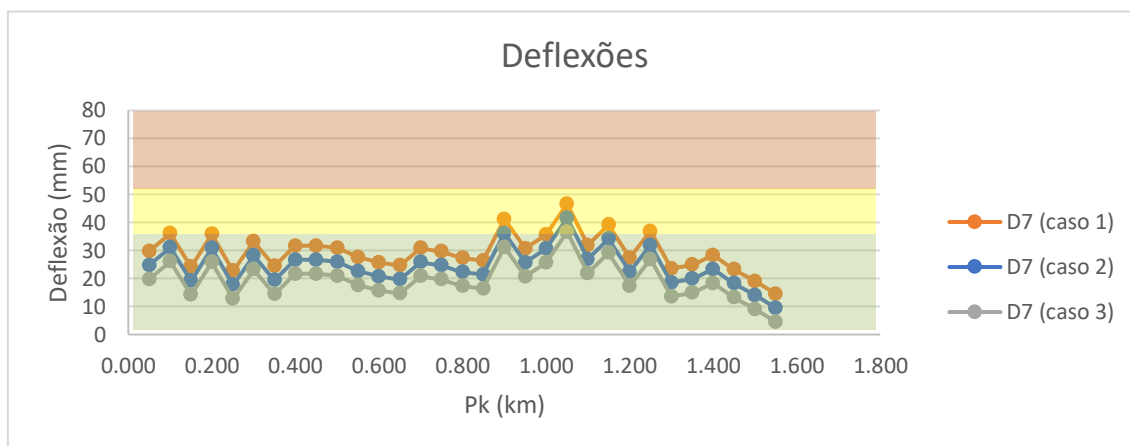


Figura 5.9 - Deflexões relativas ao solo de fundação (D7).

De acordo com o catálogo da SATCC (SATCC, 1998) o ensaio de determinação dos índices de CBR deve ter em conta uma densidade de compactação mínima de 100% para o teor de humidade ótimo do ensaio Proctor (ou 95% de compactação do ensaio AASHTO modificado).

Os valores de CBR saturado apresentados na Tabela 4.2 dizem respeito às camadas de base/sub-base granulares. Onde o índice CBR saturado da camada de base granular deve ser superior a 80% em 98% de compactação do ensaio AASHTO modificado e da camada de sub-base granular deve ser superior a 30% em 95% de compactação do ensaio AASHTO modificado.

Tabela 5.2 - Características geotécnicas das camadas de base e sub-base.

	Sub-Base		Base	
	Projeto	Atual	Projeto	Atual
CBR (%)	≥ 30	73,7	≥ 80	236,9
Índice de Plasticidade (IP)	≤ 10	6,9	$\leq 6,0$	3,0

5.3. Modelação de patologias em BIM

A metodologia BIM garante ao engenheiro um suporte digital da informação muito grande. É muito frequente fazer-se uma associação do BIM ao CAD, no entanto diferente do CAD que comporta desenhos derivados da criação de uma geometria com base em elemento primitivos gráficos, tais como linhas, arcos, polígonos e círculos, o BIM passa pela criação de um modelo que comporta as informações presentes na realidade a apresentar fazendo uso de objetos paramétricos em que as alterações são refletidas em todo o modelo ao nível de todas as vistas e as características dos objetos são atualizadas igualmente de forma automática.

Devido à frequência com que se verificou a existência de rodeiras nos pavimentos flexíveis em Angola, é elaborado um modelo a título de exemplo das potencialidades do BIM no contexto da modelação da informação (Figura 5.10).



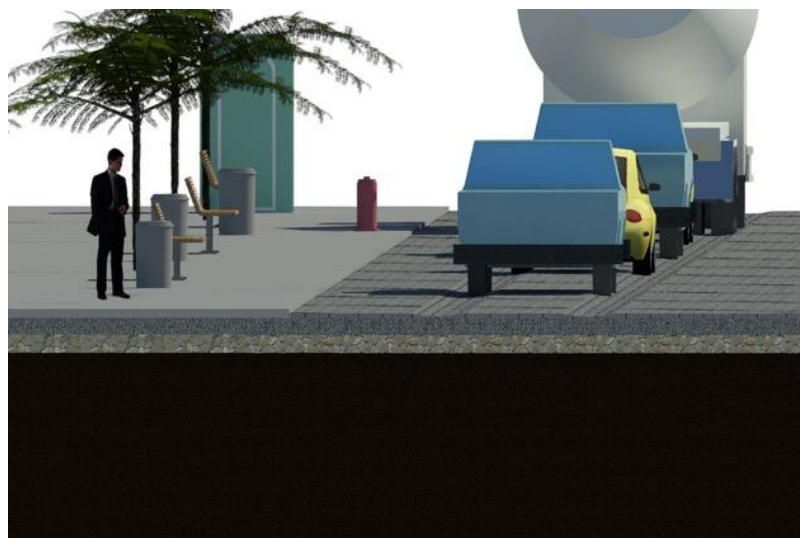


Figura 5.10 – Modelação de rodeiras de grande raio.

5.4. Modelação do trecho experimental em BIM

5.4.1. Descrição geral

Existem contantes mudanças ao nível de uma infraestrutura, que vão desde a sua idealização até depois da sua realização. Para que esta gestão se torne mais económica e a informação esteja sempre à distância de um “click”, recorre-se a uma ferramenta que permite um processamento de dados mais rápido de modo a ter-se em conta as várias intervenções durante as várias fases do projeto.

Primeiramente, começa-se por fazer uma interpretação dos desenhos de projeto disponíveis, quer sejam em papel ou em formato digital. Em alguns casos, os desenhos em papel, apresentam-se degradados devido à resistência do material. Posteriormente à interpretação dos documentos, são construídos os modelos através da ferramenta de desenho. Dessa forma, com a utilização da metodologia BIM, cabe ao engenheiro de estruturas distribuir as várias tarefas de forma faseada. Possibilitando a utilização deste projeto por parte de outras especialidades sempre que for necessário proceder a alguma mudança ou acrescentar algum elemento.

O software utilizado para este trabalho é o Revit Strucure 2019 desenvolvido pela Autodesk. Nesta ferramenta é possível efetuar a modelação da estrutura com a respetiva documentação. As principais potencialidades do Revit Structure são:

- Software de engenharia de estruturas para BIM;

- Suporte para diversos formatos de dados;
- Ambiente de modelação 3D com representação gráfica;
- Componentes estruturais paramétricos;
- Atualização automática de custos e quantidade de materiais;
- Contém uma biblioteca e ferramentas para detalhamento;

A metodologia BIM, no contexto de conceção do projeto, garante ao engenheiro estrutural uma interação com os diferentes intervenientes de cada uma das especialidades dentro de uma plataforma virtual. Neste contexto, o modelo 3D é trabalhado em simultâneo com os diferentes intervenientes e estes são atualizados automaticamente sempre que houver uma alteração nas especialidades. Isto acontece quando a base de dados é partilhada, ou seja, é criado um arquivo central que guarda a cópia original do projeto. Cada interveniente trabalha com uma cópia desse arquivo, e sempre que guardar alguma alteração, essa é automaticamente transferida para o arquivo central e sempre que um dos utilizadores abra esta base de dados terá sempre o projeto atualizado. Desta forma, evita-se que dois utilizadores estejam a fazer a mesma alteração poupando-se tempo e recursos.

A plataforma Revit fornece ferramentas e funcionalidades adequadas a diferentes especialidades em um único modelo BIM, garantindo uma maior compatibilização entre os vários módulos criados no projeto. Desta forma, não é necessário que se faça uma conversão dos ficheiros. Sempre que os utilizadores necessitem podem criar os seus próprios objetos 2D e 3D para a modelação e elaboração do projeto ou mesmo importá-los de uma outra plataforma CAD.

Durante a modelação pressupõe-se que o processo de trabalho passe pela avaliação do projeto de arquitetura, contudo, para este caso de estudo em que se destina a modelar um pavimento flexível com o intuito de demonstrar os benefícios adquiridos durante o projeto estrutural do pavimento em ambiente BIM, o modelo de arquitetura é inexistente. Com que, a primeira etapa deste processo passa a ser a criação do modelo estrutural do pavimento.

5.4.2. Definição de elementos estruturais

Define-se a especialidade em que se vai trabalhar no Revit, neste caso em concreto trata-se do “modelo estrutural” (Figura 5.11). Desta forma, os elementos a utilizar na modelação serão automaticamente caracterizados como estruturais. Assim sendo, o entrosamento entre as várias especialidades torna-se mais organizado.

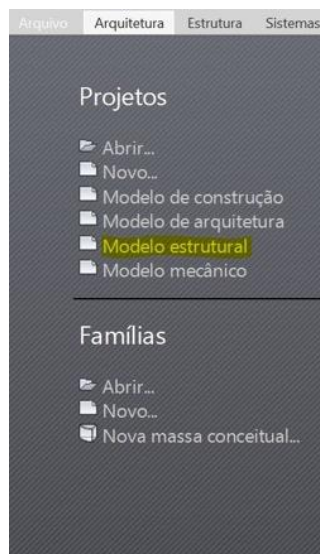


Figura 5.11 – Escolha do modelo

Um dos aspetos mais importantes quando se dá início a um trabalho em Revit (e em todos os programas de modelação) é a definição das unidades de trabalho, figura 5.12. Para este caso teve que ser feita a mudança das unidades para metros

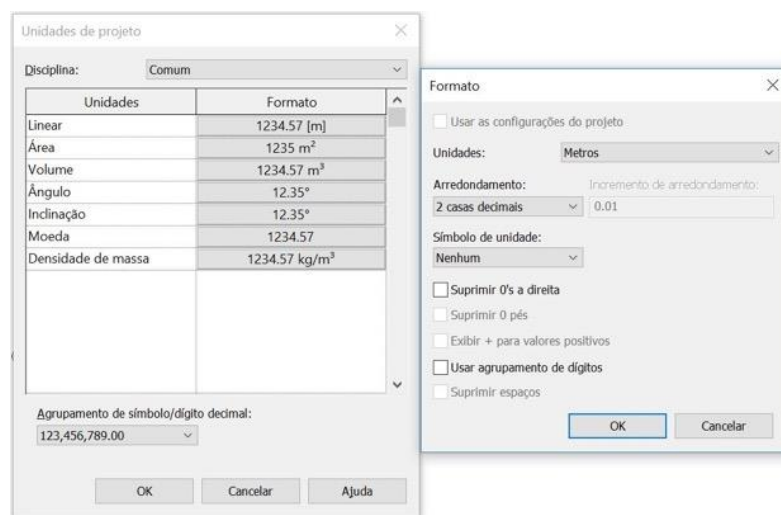


Figura 5.12 – Definição das unidades do projeto.

A identificação das vistas é fundamental para que se consiga saber em que plano se pretende trabalhar. Por defeito o Revit apresenta apenas dois pisos, pelo que, deve-se criar os restantes sempre que necessário. Para o caso de estudo, em que consiste num pavimento flexível, o número de pisos a ter em conta foram os correspondentes às diferentes camadas da estrutura do

pavimento (Figura 5.13), em que cada camada apresenta os materiais com as respetivas características físicas e suas espessuras.

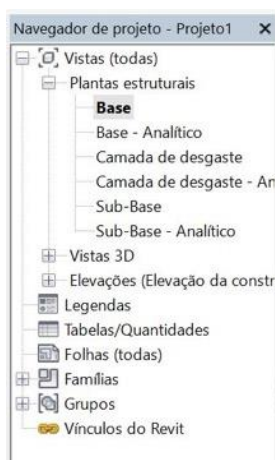


Figura 5.13 – Navegador de projeto.

5.4.3. Definição dos materiais

Neste subcapítulo fazem-se referência dos materiais utilizados para a conceção do modelo. Para cada um dos casos foi escolhida a camada associada a um material definido. Em que estão presentes as características físicas, aparência de cada material, de modo a obterem-se camadas muito semelhantes às estudadas. No entanto, para alteração das características físicas dos materiais, o Revit tem a capacidade de duplicar e modificar os materiais existentes. Desta forma, após efetuar-se a seleção do tipo de objeto, mais concretamente, “Fundação estrutural: laje”, efetua-se o “Editar Tipo”, de seguida faz-se o “Editar” no parâmetro “Estrutura” e na janela “Editar montagem” é possível alterar as propriedades dos materiais, acrescentar camadas conforme se pode verificar na Figura 5.14.



Figura 5.14 – Edição da estrutura do pavimento.

A fim de modificar o material numa determinada camada, vai-se à janela “Navegador de materiais” (Figura 5.15) onde se escolhe o material, faz-se a alteração das suas características

gráficas, físicas ou térmicas de forma a aproximarem-se do pretendido (Figura 5.16). Caso o material necessite ser criado, ou seja, não conste a biblioteca do Revit, o utilizador apenas precisa pressionar em “Criar novo material” e um material genérico é criado. Após ser escolhido e modificado o material, faz-se exatamente o mesmo processo para as restantes camadas. Obtendo-se a configuração desejada do pavimento.

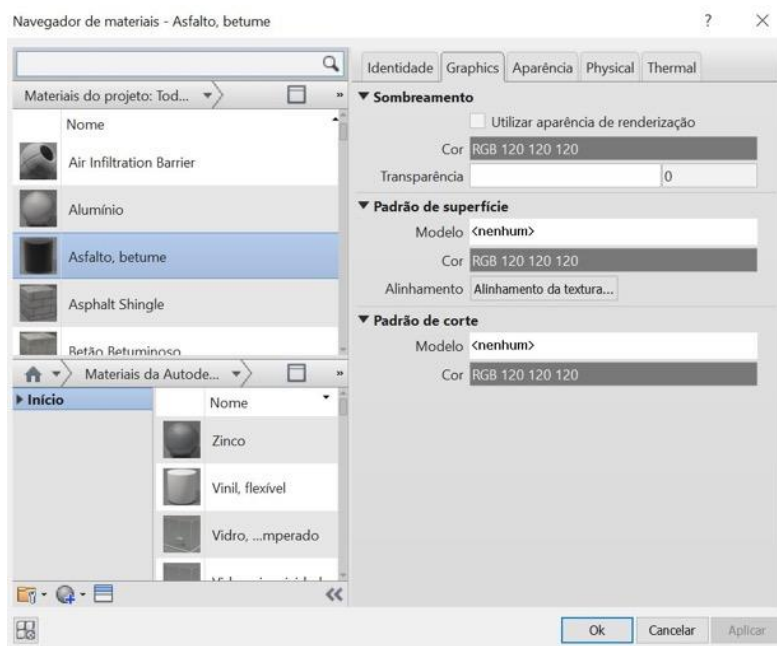


Figura 5.15 – Navegador de materiais.

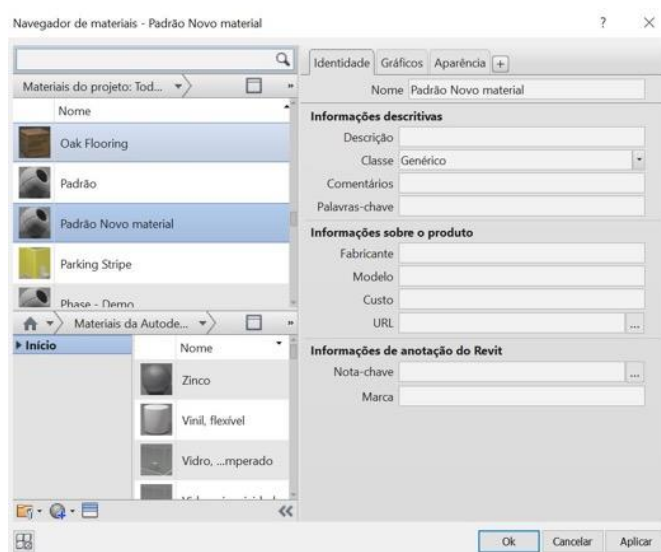


Figura 5.16 – Génese de um material com características padrão.

5.4.4. Modelação geométrica

O modelo geométrico é o processamento gráfico dos objetos, realizado através de uma sequência de operações que partem desde a definição geométrica dos objetos até à obtenção de um resultado muito próximo ao real e com características semelhantes, entre as quais encontramos, o volume, a cor, a massa, textura e o acabamento das superfícies. Desta forma pode-se afirmar que quanto mais precisos forem os dados fornecidos, melhor serão os resultados que se poderão obter desta modelação.

Para a elaboração do modelo geométrico deve ser seleccionado o “Fundação estrutural” no separador “Fundação” na especialidade “Estrutura” (Figura 5.17). É possível verificar detalhadamente a representação das camadas do pavimento rodoviário na Figura 5.18.

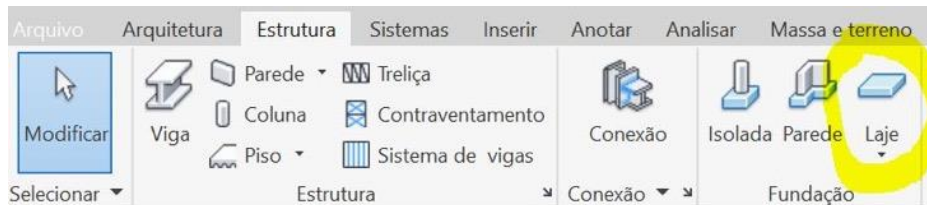


Figura 5.17 – Seleção do modelo estrutural.

A visualização em 3D permite que se tenha uma maior capacidade de interpretação, e possibilita a diminuição de erros que possam surgir durante o processo de modelação da mesma. Nesta fase procura-se detalhar ao máximo a representação gráfica. E ainda assim, é possível observar a existência de incompatibilidades geométricas.

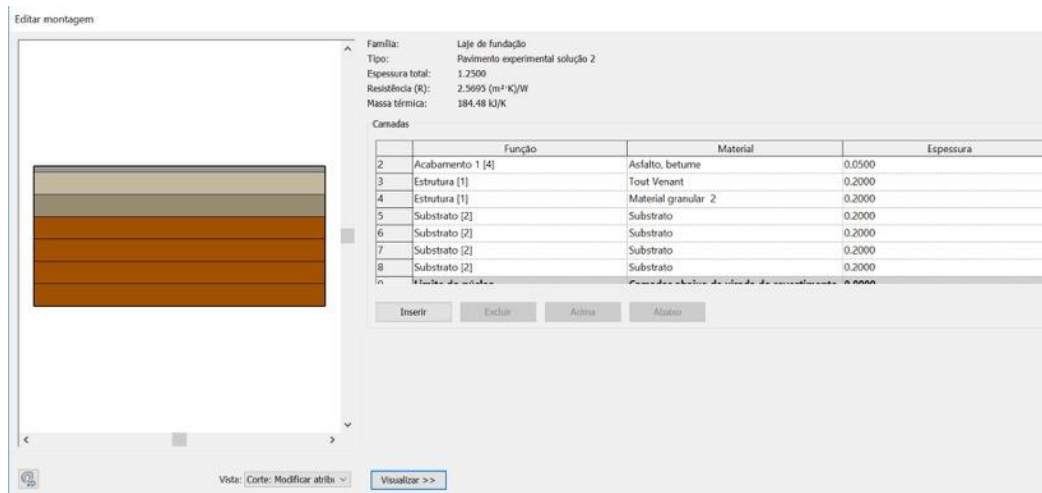


Figura 5.18 – Representação 3D das camadas do pavimento reabilitado.

Para a melhoria da componente geométrica o Revit dispõe de uma variada gama de funcionalidades, permitindo ao utilizador conceber uma estrutura do seu gosto, para tal, existe no separador “Massa e terreno” a funcionalidade “Massa no local”, que permite fazer a modelação que se pretenda. Conforme se pode constatar na Figura 5.19.

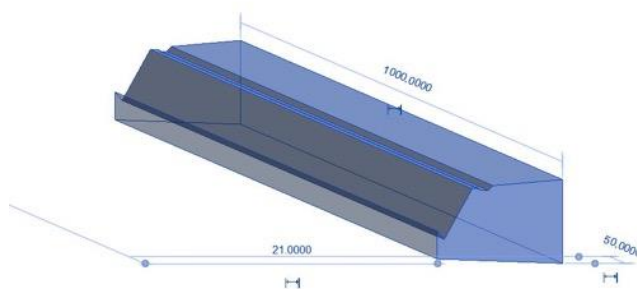
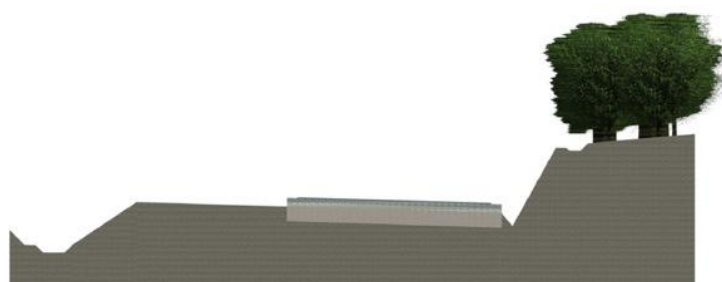
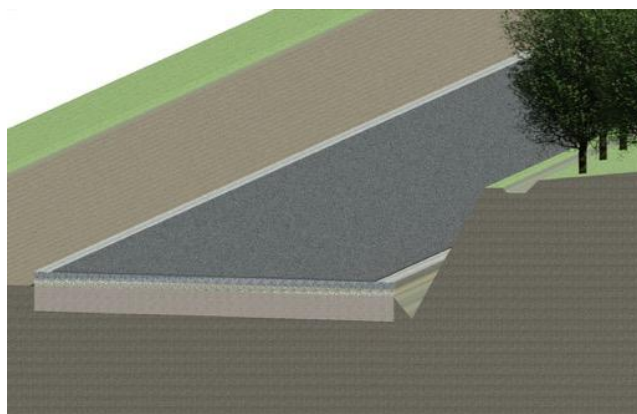


Figura 5.19 – Conceção do modelo estrutural.

Uma vez definido o modelo estrutural é possível perceber se a aparência do mesmo vai de encontro com os vários elementos definidos em projeto. Tendo uma ideia antes que se inicie o processo de construção (Figura 5.20).



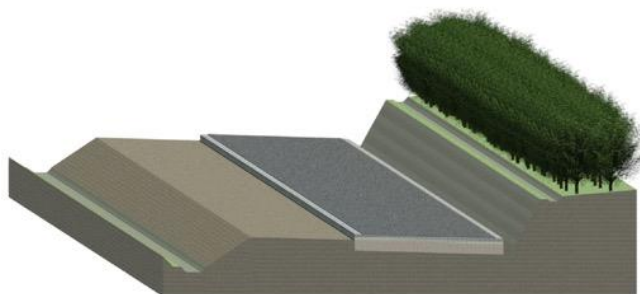


Figura 5.20 – Representação 3D do modelo do pavimento.

No presente modelo é possível verificar a disposição das camadas do pavimento, os elementos de drenagem, a inclinação transversal ao nível do pavimento, entre outros elementos geométricos dispostos em projeto. Desta forma, é possível ter uma visão clara do que é proposto em qualquer perspetiva, facilitando ainda o entendimento da volumetria e composição dos diversos elementos.

5.4.5. Fases de planeamento do projeto

O planeamento de um projeto proporciona uma abordagem mais simples garantindo o devido planeamento das atividades associadas, desta forma, é possível estabelecer quais as intervenções necessárias a fazer, tais como, reabilitações, expansões, demolições, entre outras atividades. O planeamento e calendarização da construção são de extrema importância, visto que o incumprimento dos prazos previamente estabelecidos, acrescem no custo da obra.

Na vertente do caso em estudo, houve a necessidade de utilizar este procedimento para promover uma melhor organização das fases de planeamento do projeto. Para tal, utiliza-se no Revit, a opção “Fases”, que pode ser encontrada no separador “Gerenciamento”. Obtendo-se a janela apresentada na Figura 5.21.

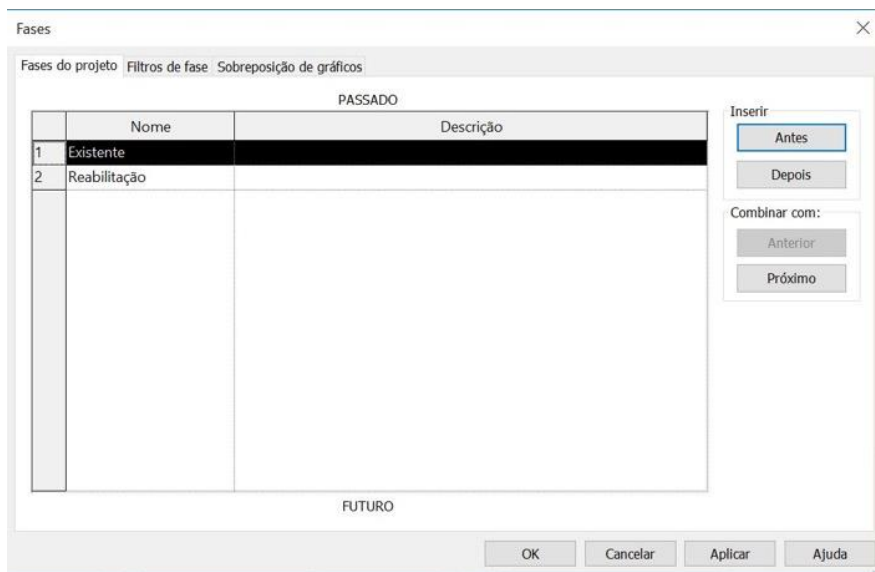


Figura 5.21 – Fases do projeto.

O BIM facilita muito o trabalho de compatibilização de projetos, quer seja pela possibilidade de automatização de deteção de interferências, quer seja pela própria visão espacial que dá ao utilizador. Projetos com maior grau de compatibilização diminuem a possibilidade de imprevistos em obra e melhoram a assertividade do planeamento.

Para o caso em estudo, através da Figura 5.22 consegue-se ter uma perceção das alterações submetidas ao nível do pavimento, do caso 2 para o caso 3, conforme descrito no subcapítulo 5.1.

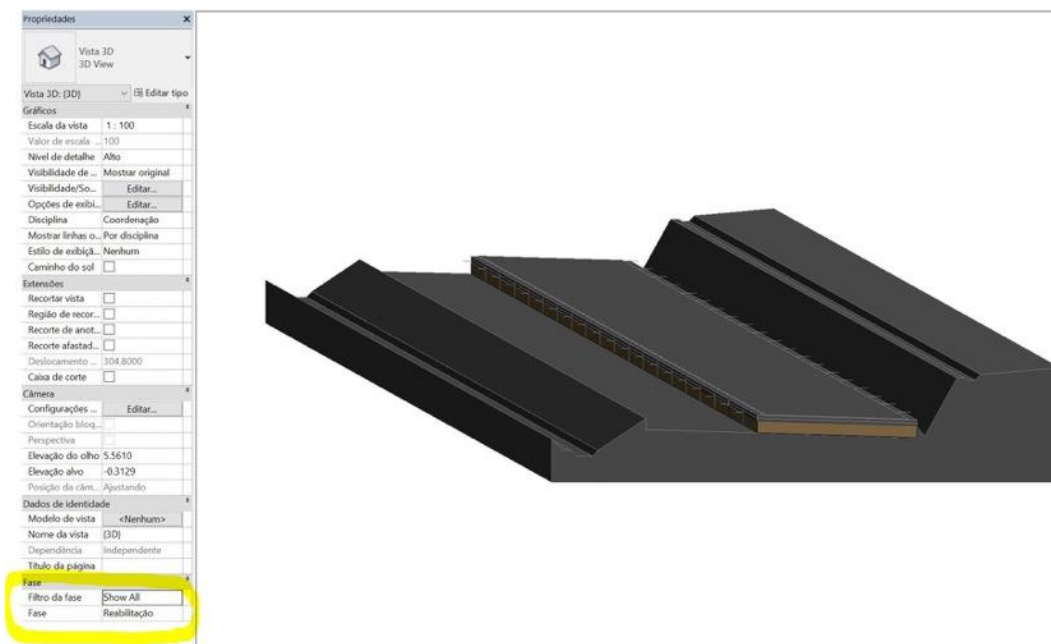


Figura 5.22 – Ilustração das fases do projeto no modelo 3D.

5.4.6. Medidas, quantidades e custos

Com recurso ao BIM a medição das quantidades torna-se muito mais expedita, sendo o Autodesk Revit um software paramétrico, a informação disponibilizada pelos objetos que integram o projeto pode ser extraída através de um mapa de quantidades.

É de realçar que qualquer alteração que seja feita ao modelo, por exemplo a mudança da espessura da camada de desgaste, irá automaticamente ser feita ao nível do mapa de quantidades, assim como a mudança da espessura da camada de desgaste no mapa de quantidades irá se refletir ao nível do elemento que é identificável no modelo 3D.

Para a criação da tabela de quantidades deve-se ir ao separador “Vista”, clicar em “Tabelas”, e posteriormente em “Tabela/Quantidades”, é aberta a janela (Figura 5.23) onde se pode atribuir o nome ao mapa de quantidades e posteriormente definir os parâmetros que se pretende que sejam indexados ao mapa, entre os quais, o custo do material (Figura 5.24).

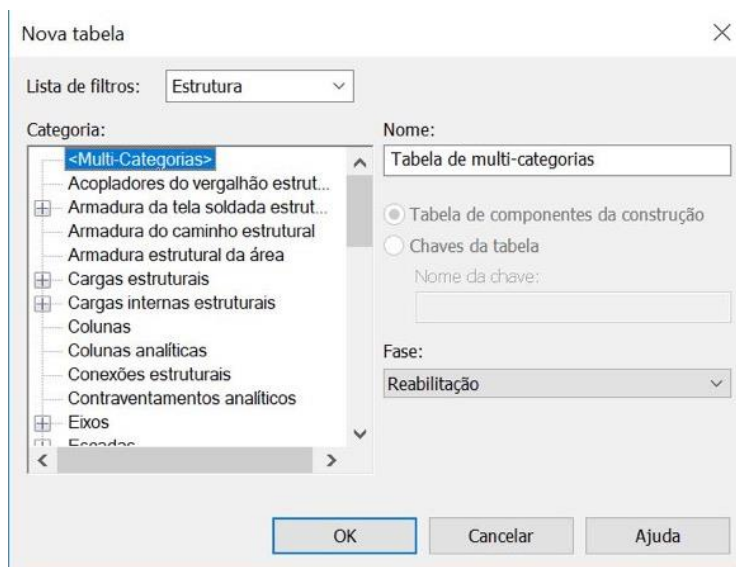


Figura 5.23 – Escolha do tipo de elemento a quantificar.

Selecionada a opção de categoria e indicada a nomenclatura desejada, são posteriormente escolhidas as propriedades que se pretendem incluir. Por exemplo, o tipo de elemento, o volume, o custo, o material, entre outras.

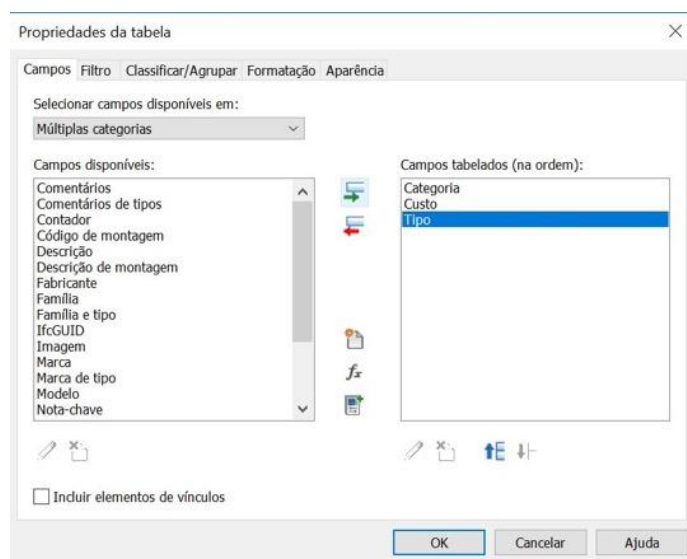


Figura 5.24 – Propriedades da tabela.

Desta forma obtém-se o mapa de quantidades pretendido, a título de exemplo na Tabela 5.3 apresenta-se a quantidade de mistura betuminosa contínua a quente utilizada para a execução da camada de desgaste para os casos 1, 2 e 3. No entanto, esta tabela pode ser exportada em formato do tipo texto (.txt) para utilização em outros programas de cálculo, por exemplo, Microsoft Excel. Nesta vertente, pode-se verificar no anexo B as tabelas correspondentes às quantidades de material utilizado e retirado durante a execução das obras na passagem do caso 2 para o caso 3.

Tabela 5.3 – Mapa de quantidades

(Figura 5.26). Como se pode constatar no anexo B, nesta fase foram removidos para a execução deste trabalho 450 m^3 de mistura betuminosa, 2000 m^3 de AGBE da base, 2000 m^3 do material correspondente à sub-base e 6000 m^3 de solo da fundação removida durante a escavação.



Figura 5.26 – Remoção das camadas do pavimento do caso 2.

- 2- Efetuou-se a modelação da construção da fundação do novo pavimento com 60,0 cm de espessura, executado em camadas de 20,0 cm, devidamente compactadas, perfazendo um total de 6000 m^3 do subleito melhorado (Figura 5.27).

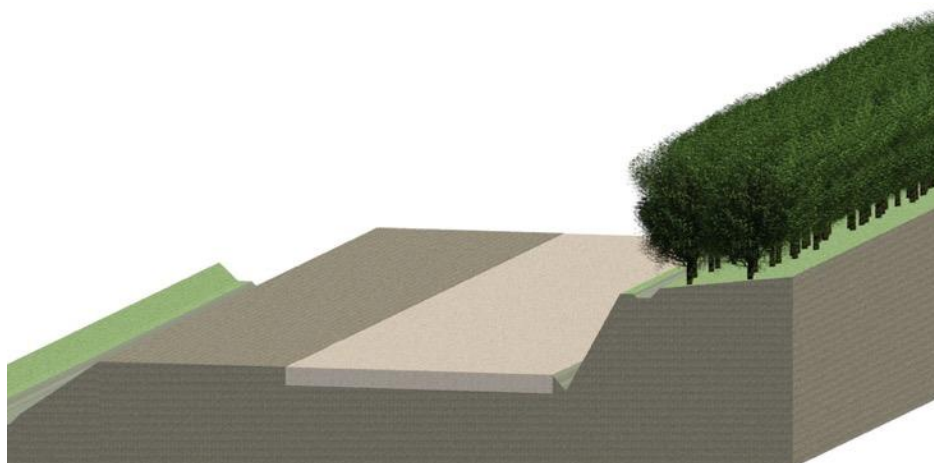


Figura 5.27 – Aplicação do reforço do subleito (caso 3)

- 3- Efetuou-se a modelação da nova camada de sub-base com uma espessura de 20,0 cm em material britado devidamente compactada perfazendo um total de 2000 m^3 deste material para a execução dos trabalhos (Figura 5.28).



Figura 5.28 – Aplicação da camada de sub-base melhorada (caso 3).

- 4- Efetuou-se a modelação da camada de base com uma espessura de 20,0 cm em ABGE (Agregado Britado de Granulometria Extensa), devidamente compactada perfazendo um total de 2000 m³ deste material para a execução dos trabalhos (Figura 5.29).

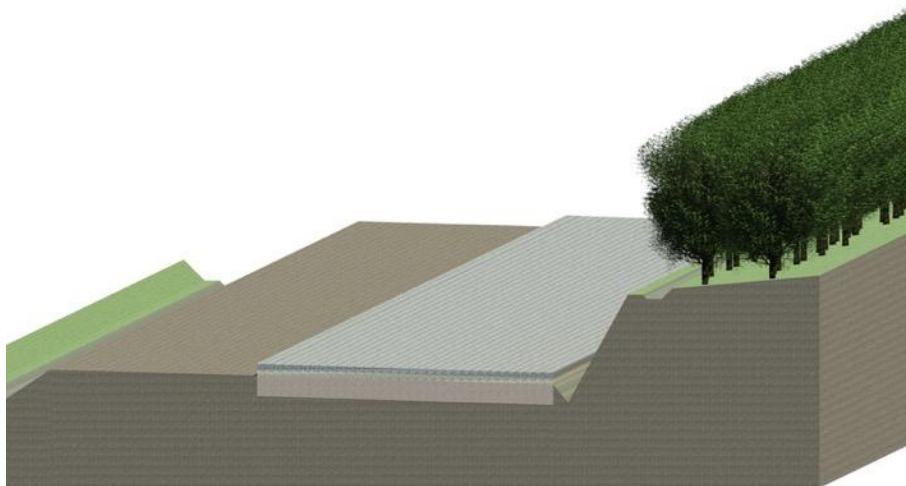


Figura 5.29 – Aplicação da camada de base ABGE.

- 5- Efetuou-se a modelação da camada de desgaste com uma espessura de 5,0 cm em mistura betuminosa, devidamente compactada perfazendo um total de 450,0 m³ deste material para a execução dos trabalhos (Figura 5.30).



Figura 5.30 – Aplicação da camada de desgaste (caso 3).

5.4.8. Resultados da modelação

Na tentativa de se representar de forma ilustrativa os resultados obtidos pelo ensaio com o FWD e posteriormente correlacionados em 2.4.7, o Revit apresenta a funcionalidade “legenda de cores”. Que neste caso em concreto é usada para avaliar uma determinada característica ou propriedade das camadas do pavimento tornando essa informação muito mais intuitiva ao nível visual. Desta forma, é definida uma legenda com preenchimento de cores em que as características da camada de desgaste e do solo de fundação provenientes dos resultados dos ensaios com o defletómetro de impacto possam ser correlacionadas com o índice de qualidade do pavimento (PCI) dando um aspeto visual axiomático.

A adição da legenda de cores pressupõe, primeiramente, escolher o local ou área que se quer que apareçam as cores da legenda, dessa forma é necessário na guia “Arquitetura”, em “Área” escolher o comando “Planta da área” e abrir-se-á a uma janela (Figura 5.31) onde se escolhe o nível em que se pretende definir a área, posteriormente, procede-se à identificação de cada uma das áreas, que corresponde a cada um dos troços do pavimento rodoviário.



Figura 5.31 – Definição da área a ser identificada.

Uma vez definidas as áreas na planta, é criada a legenda com preenchimento de cores conforme mostra a Figura 5.32.

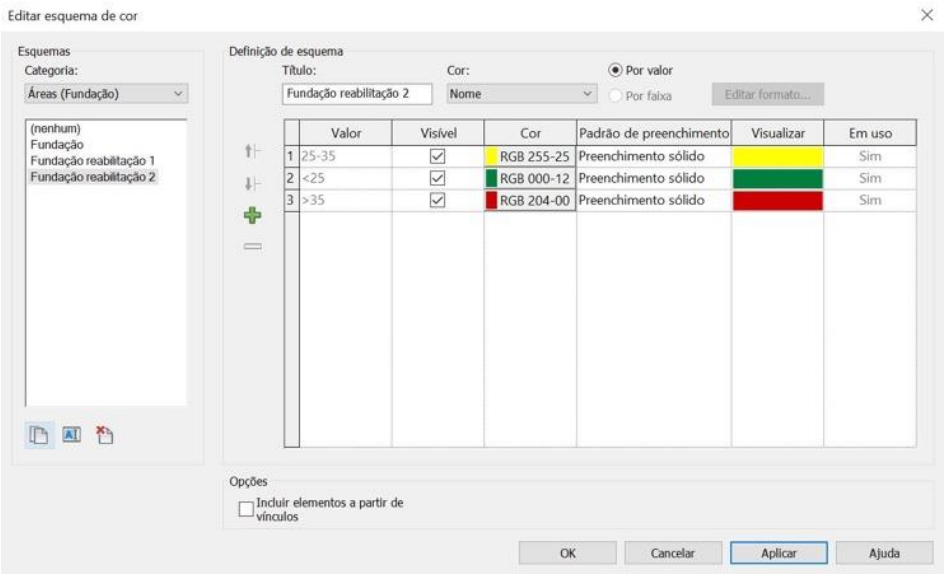


Figura 5.32 – Edição de legenda de cores.

Uma vez obtida a representação das camadas de desgaste e de fundação do pavimento em estudo, consegue-se ter uma melhor perceção visual do estado do pavimento, alertando a quem o vê a necessidade, emergente ou não, de se proceder à manutenção ou mesmo à reabilitação.

Para a camada de desgaste apresentam-se os esquemas de cores dos casos 1, 2 e 3. Na Figura 5.33 (caso 1) é possível verificar o nível de desgaste da camada, concluindo-se que a mesma apresenta um grau de degradação elevado na maior parte da extensão do seu pavimento, havendo situações emergentes de reparação. E ao nível da fundação verifica-se que a sua

capacidade de carga está comprometida em grande parte do terreno, necessitando de uma reparação acentuada a este nível.



Figura 5.33 – Resultados do FWD para a camada de desgaste e fundação (Caso 1).

Posteriormente à execução dos trabalhos que deram origem ao denominado caso 2, em que foi feita uma melhoria ao nível da qualidade do material britado na camada de base na tentativa de melhorar a plasticidade, constatou-se que ao nível da camada de desgaste não houve melhorias substanciais, continuando a haver zonas em que a degradação é elevada. Ao nível da fundação verificou-se uma ligeira melhoria devido à redução da quantidade de água presente no pavimento posteriormente à execução desta reabilitação. A sua capacidade de carga teve um aumento, reduzindo o valor das deflexões que é revertido pela mudança das cores que se pode verificar na Figura 5.34.



Figura 5.34 – Resultados do FWD para a camada de desgaste e fundação (Caso 2).

Posteriormente à execução dos trabalhos que deram origem ao denominado caso 3, em que foi feita uma melhoria ao nível da fundação onde foi substituído o material existente por uma camada de 60,0 cm de espessura para reforço do subleito, compactada em camadas de 20,0 cm para um melhor resultado na uniformidade da sua superfície. Constatou-se que ao nível da camada de desgaste houve melhorias, no entanto é aconselhável o uso de três camadas de mistura betuminosa para a obtenção de melhores resultados ao nível desta camada. Por outro lado, ao nível da fundação verifica-se uma grande melhoria em quase toda a totalidade das secções do pavimento, a sua capacidade de carga aumentou bastante melhorando os resultados das deflexões a este nível. Conforme se pode verificar na Figura 5.35. Possivelmente com o acréscimo das duas camadas de mistura betuminosa a deflexão da camada de desgaste diminua, havendo carregamentos mais uniformes para as camadas inferiores a esta. Causando à fundação resultados bastante satisfatórios.



Figura 5.35 – Resultados do FWD para a camada de desgaste e fundação (Caso 3).

5.5. Considerações finais

Constatou-se ao longo da aplicação do modelo BIM ao caso de estudo que esta abordagem apresenta muitas potencialidades.

Entre as possíveis aplicações foram apresentadas neste capítulo as seguintes: 1) uma modelação de patologias em camada de desgaste; 2) modelos estruturais de um pavimento de uma estrada em serviço, ao longo da vida útil, em diversas fases de construção e reabilitação e, por fim, 3) uma representação da avaliação da capacidade de carga com o Defletómetro de Impacto, que permite, através da sua atualização anual, observar a evolução da condição real do pavimento em serviço sob o efeito das ações.

Foi possível, através do caso de estudo, avaliar o trabalho envolvido na aplicação do BIM no caso de infraestruturas de pavimentos, mostrando-se as principais dificuldades e as

potencialidades da aplicação desta metodologia, em várias vertentes da monitorização e reabilitação rodoviária.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1. Conclusões

Atendendo à situação económica vivida em Angola, e à sua necessidade em se estabelecer na economia mundial, tem-se verificado um grande crescimento ao nível da sua rede viária, devido ao fato de se pretender potenciar o transporte de pessoas e bens. Dessa forma, espera-se que nos próximos anos a indústria da AEC venha a precisar de implementar soluções economicamente mais eficientes. Neste momento as infraestruturas de transporte mais utilizadas são as estradas, e nestas, diariamente, verificam-se em maior destaque, grandes solicitações de carga associadas ao grande fluxo de veículos, assim como, não menos importante, os fatores climáticos que acabam por acelerar o processo de degradação dos pavimentos.

As campanhas de avaliação do pavimento, em conjunto com as inspeções visuais para a completa análise do caso de estudo, permitiram que se obtivessem as características funcionais e estruturais necessárias para a completa elaboração do mesmo, e para que se pudesse validar a ideia apresentada na presente dissertação. É importante a determinação destes parâmetros, pois refletem a qualidade do pavimento, consequentemente, garantem a boa circulação de pessoas e bens.

Para que se queira um dimensionamento melhorado ao nível dos pavimentos, após a constatação de algumas situações, nomeadamente, dados de tráfego desatualizados, falta de controle da carga que circula no pavimento, necessidade de implementação de uma normalização e regulamentação técnica mais adequada ao país, para que se possa posteriormente melhorar os sistemas de gestão de pavimentos para otimização da vida útil dos pavimentos.

Com os avanços tecnológicos, e a necessidade de melhoria das técnicas de inspeção, desde a construção até à fase de manutenção do pavimento, é expectável que se recorra à utilização de ensaios de carga não destrutivos. Desta forma, para este trabalho, dá-se um realce maior ao ensaio com o Defletómetro de Impacto, por se tratar de um equipamento existente em Angola e que, para além de ser expedito, é um ensaio não destrutivo, permitindo uma avaliação quase em contínuo da condição do pavimento.

Realçando o que fora dito anteriormente, é necessário que as técnicas de inspeção rodoviária que apostam no controle da eficiência desde a fase de projeto até à sua manutenção, sejam complementadas por metodologias que sejam capazes de reforçar a qualidade da infraestrutura, permitindo que se monitorizem os dados, tornando a informação mais iterativa,

que se diminuam possíveis erros ao nível do projeto e da fase de construção, aumentando o nível de interação entre os vários intervenientes ao longo de todo este processo.

Como tal, a título de exemplo, foi implementando o caso de estudo em ambiente BIM com o auxílio do software Revit 2019. A modelação do pavimento foi elaborada através da conceção de elementos estruturais constituídos pelos materiais que os compõem, levando a que se obtivesse uma representação gráfica do caso de estudo com as características físicas correspondentes e de uma representação de rodeiras que se trata de uma patologia que foi verificada com alguma frequência durante o levantamento patológico que foi feito para a elaboração deste trabalho. Ainda mais, para o caso de estudo, posteriormente, fez-se uma representação numa gama de cores das características de estruturais das camadas, tornando mais intuitiva a sua interpretação, assim como o mapa de quantidades em que se pode ter uma noção do material utilizado e removido do local durante a última reabilitação.

No que diz respeito aos valores de deflexão apresentados pelo defletómetro de impacto, referentes ao caso de estudo, permitiram que se tivesse uma melhor apreciação visual da evolução do estado do pavimento rodoviário, tal que, conseguiu-se ter uma perceção melhor das camadas que melhoraram o seu comportamento e aquelas que em quase nada houve mudanças, ressurgindo os mesmos problemas nos mesmo locais. Posteriormente a esta representação é possível perceber que um aumento da espessura da camada de desgaste poderá levar à melhoria da mesma tornando-a mais resistente o que fará com que ela transmita cargas para a camada de base mais uniformizadas. Esta constatação é possível ser percebida devido ao aspeto visual da informação que foi modelada em ambiente BIM.

A utilização do ambiente BIM apresentado nesta dissertação permitiu demonstrar as suas potencialidades, quer ao nível da modelação por objetos paramétricos e ao nível da integração de informação nesses mesmos modelos. Contudo, o conhecimento da ferramenta por parte do utilizador é preponderante para o seu correto manuseamento.

6.2. Desenvolvimentos Futuros

Com o passar do tempo, o transporte rodoviário tem-se intensificado cada vez mais, o turismo, o comércio, a intensificação demográfica são fatores preponderantes para que se faça sentir esse efeito, de tal modo que, a capacidade de carga dos pavimentos tem sido colocada à prova. Então, apela-se que a manutenção das mesmas seja monitorizada da melhor forma possível. Para tal, contempla-se que sejam feitas campanhas periódicas nos pavimentos mais solicitados por forma a garantir a sua funcionalidade a custos menos onerosos.

Espera-se que se faça um estudo mais pormenorizado, constante e periódico por forma a manter atualizados os dados de tráfego rodoviário ao nível nacional. Por outro lado, garantir

também que se apliquem medidas de controle de sobrecargas nos pavimentos, com a aplicação de balanças em pontos estratégicos.

Apela-se à tentativa de se fazerem estudos para a elaboração de um anexo nacional em que vigorem parâmetros que sejam diferenciados em Angola, relativamente aos outros países pertencentes à SADC. Como por exemplo a temperatura que não é tida em conta no dimensionamento da mistura betuminosa adequada a cada região do país. É relevante este dado porque Angola apresenta zonas climáticas bem diferenciadas.

Com o intuito de garantir que a instituição responsável pela execução destes ensaios em Angola (o Laboratório de Engenharia Civil de Angola - LEA), tenha autonomia financeira e técnica necessária para dar resposta às solicitações a nível nacional, apela-se à entidade reguladora do setor da construção que garanta à mesma os recursos necessários para a execução dos seus deveres como lhe é devido. Adicionalmente, será necessário garantir que todas as empresas que atuam no sector de construção em Angola, sigam os padrões técnicos pré-definidos pelo LEA, por forma a assegurar a qualidade das empreitadas.

Relativamente ao desenvolvimento da aplicação desta metodologia na gestão de pavimentos rodoviários considera-se importante conseguir no futuro automatizar a importação de dados e representação das deflexões medidas com do Defletómetro de Impacto no BIM, permitindo assim uma representação visual imediata da condição do pavimento e da sua evolução em tempo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afonso, J. P., & Gomes, L. F. (2010). *Pavimentos rodoviários em África*. Artigo Científico, Mota Engil Engenharia e Construção S. A., Direção Coordenação Técnica Rdoviária - Núcleo de pavimentos, Porto.
- Afsari, K. (2012). *Building Information Modeling in Concept Design Stage*. Tese de Mestrado, University Salford Manchester, School of the Built Environment, Manchester, UK.
- Alves, N. B. (2016). *Dimensionamento de pavimentos rodoviários: comparação entre diferentes metodologias*. Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Departamento de Engenharia Civil, Almada.
- Alves, T. S. (2007). *Metodologias de Auscultação de Pavimentos Rodoviários. Aplicação Prática do Radar de Prospeção e do Defletómetro de Impacto*. Tese de Mestrado, Instituto Superior Tecnico, Universidade Tecnica de Lisboa, Lisboa.
- Andre, L. (25 de Maio de 2018). *Building Information Modeling o que é*. Obtido em 20 de Agosto de 2018, de QualifiCAD: Retirado de: <https://qualificad.com.br/building-information-modeling-o-que-e-bim/building-information-modeling-o-que-e-07/>
- Applied pavement technology. (2010). *Arizona Airoport Pavement Management System Update*. Executive Summary, Arizona Department of Transportation, Arizona, US.
- Autodesk. (2016). *Autodesk Revit 2016*. Obtido de Retirado de: <http://help.autodesk.com/view/RVT/2016/PTB/?guid=GUID-0D546BEA-6F88-4D4E-BDC1-26274C4E98AC>
- Batista, C. M. (2010). *Drenagem superficial de vias de comunicação*. Tese de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Departamento de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal.
- Borges, C. B. (2001). *Estudo Comparativo entre Medidas de Deflexão com a Viga Benkelman e FWD em Pavimentos da Malha Rodoviária Estadual de Santa*

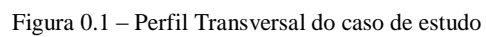
- Catarina. Tese de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.
- Bradley, A., Li, H., Lark, R., & Dunn, S. (2016). *BIM for infrastructure: An overall review and constructor perspective*. Cardiff University, School of Engineering . Cardiff, UK: Automation in Construction.
- Brandão, R. d., & Ferreira, E. d. (2015). *Aplicação do BIM no estudo de obras de infraestrutura viária e de terraplenagem*. Universidade Federal da Bahia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. São Paulo, Brasil: Inovação, produtividade e empreendedorismo na engenharia civil, Melhores de 2014.
- BuildingSMART. (2018). *BuildingSMART*. Obtido em 15 de Junho de 2018, de International home of openBIM: Disponível em: <https://www.buildingsmart.org/about/about-buildingsmart/history/>
- BuildingSMART. (2018). *BuildingSMART*. Obtido em 15 de Junho de 2018, de International home of openBIM: Disponível em: http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/ifc-releases/figures/20100409_ifc_development_history.png/view
- BuildingSMART. (2018). *BuildingSMART*. Obtido de International home of openBIM: Retirado de: <http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/ifc-overview/ifc-overview-summary>
- Cerqueira, I. (2013). *Dimensionamento de pavimentos rodoviários flexíveis*. Trabalho Prático. Geotecnia rodoviária e pavimentação. Aveiro: Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro.
- Chen, B.-S., Peng, S.-C., & Wang, K.-C. (2000). *Traffic Modeling, Prediction, and Congestion Control for High-Speed Networks: A Fuzzy AR Approach*. IEEE Transaction on Fuzzy Systems, Vol.8, Nº5.
- Climate-Data. (2018). *Climate-Data*. Obtido de <https://pt.climate-data.org/africa/angola/cuanza-norte/dondo-48955/>
- de Moraes, L. F., & Silva, J. P. (2013). *Avaliação superficial de pavimentos asfálticos em vias urbanas de Palmas/TO, utilizando o método PCI (Pavement Condition Index)*. Campus de Palma, UFT: 9º Seminário de Iniciação Científica.

- Digital Vision Automation Inc. (2009). *Ifc's and Interoperability*. Obtido em 10 de Julho de 2018, de Retirado de <http://www.aecoservices.com/tips/IFCs and Interoperability.pdf>
- DNIT. (2017). *Glossário de Termos Técnicos Rodoviários*. Rio de Janeiro: Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil.
- do Vale, C. M. (2004). *Comportamento estrutural de pavimentos rodoviários flexíveis. Contributos para modelação*. Tese de Mestrado, Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Porto, Portugal.
- Domingos, P. (2007). *Reforço de Pavimentos Rígidos. Modelação do Comportamento Estrutural*. Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Civil, Lisboa.
- dos Santos, S. B. (2015). *Dimensionamento de pavimentos em África e na América Latina: Análise de manuais de pré-dimensionamento*. Tese de Mestrado, Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Porto, Portugal.
- Dynatest. (2018). *Dynatest*. Obtido de Pêndulo Britânico e Mancha de Areia: Fonte: <http://dynatest.com.br/pendulo-britanico-e-mancha-de-areia/>
- Eastman, C. (2011). *BIM Handbook - A guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. New Jersey, US: John Wiley & Sons eds, Inc.
- Esteves, A. (2012). *A metodologia BIM aplicada à preparação de obra*. Porto, Portugal.
- Fernandes, C. A. (2014). *Interoperabilidade em sistemas de informação*. Tese de Mestrado, Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Braga, Portugal.
- Ferreira, B. F. (2011). *Aplicação de conceitos BIM à instrumentação de estruturas*. Tese de Mestrado, Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Porto, Portugal.
- Fontul, S. (2004). *Structural evaluation of flexible pavements using non-destructive tests*. Tese de Doutoramento, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, Coimbra, Portugal.

- Francisco, A. S. (2012). *Comportamento estrutural de pavimentos rodoviários flexíveis*. Tese de Mestrado, Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e de Gestão, Bragança.
- Guedes, A. A. (2009). *Concreto rolado como base para pavimento de revestimento em concreto betuminoso*. Especialização em pavimentação e restauração rodoviária e aeroportuária, Faculdades Kennedy, Belo Horizonte, Brasil.
- Jiménez, F. E. (2006). *Manual de pavimentação*. CEPSA.
- Lino, A. J. (2012). *Integração da metodologia BIM na engenharia de estruturas*. Guimarães, Portugal.
- Lopes, J. M. (2017). *Evaluation of airport infrastructures. Proposal for data integration in BIM*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Departamento de Engenharia Civil, Almada, Portugal.
- Matejka, P. (2014). *The importance of a transport infrastructure construction for the implementation of BIM*. Czech Technical University in Prague, Department of Construction Management and Economics, Faculty of Civil Engineering. Praga, República Checa: International Scientific Conference People, Buildings and Environment 2014 (PBE2014).
- McPartland, R. (2018 de Março de 2014). *NBS*. Obtido de BIM Levels explained: Retirado de <https://www.thenbs.com/knowledge/bim-levels-explained>
- Moraes, G. H. (2017). *Análise de alternativas de dimensionamento de pavimento asfáltico para uma rodovia de alto volume de tráfego*. Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Civil, Minas Gerais, Brasil.
- Morais, H. M., & Minhoto, M. J. (2014). *Relação entre módulo de deformabilidade e CBR no estudo da fundação dum pavimento rodoviário flexível*. 7º Congresso Luso- Moçambicano de Engenharia/ IV Congresso de Engenharia de Moçambique, Inhambane, Moçambique.
- Mordue, S. (11 de Julho de 2016). *Bimplus*. Obtido de Explaining the levels of BIM: Disponível em: (Fonte: <http://www.bimplus.co.uk/management/explaining-levels-bim/>)
- Nascimento, K. A. (2016). *Processos de avaliação dos pavimentos rodoviários*. Área Departamental de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

- Neves, P. (2009). *Características superficiais dos pavimentos de infra-estruturas rodoviárias*. Folhas da disciplina de Construção e Manutenção de Infra-estruturas de Transportes, Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, Lisboa.
- Public Works Staff. (2012). *Public Works Magazine*. Obtido de Pavement preservation stretches ailing road budgets: Fonte: https://www.pwmag.com/roadways/pavement-preservation-stretches-ailing-road-budgets_o
- Raduns, C. D. (2013). *BIM aplicado a obras de infraestrutura(BiiM): Mini e pequenas centrais hidrelétricas*. Dissertação de Pós Graduação, Universidade Passo Fundo, Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Passo Fundo, Brasil.
- SADC. (2012). *Southern African Development Community*. Obtido de Towards a common future: Fonte: <https://www.sadc.int/member-states/>
- Sampaio, N. M. (2014). *Metodologia de controlo da qualidade de modelos BIM para análises 4D e 5D*. Tese de Mestrado, Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Braga, Portugal.
- SATCC. (1998). *Code of Practice for Design of Road Pavements (Draft)*. Maputo: Southern Africa Transport and Communications Commission.
- Shell. (1985). *Shell Pavement Design Manual - Asphalt Pavements and Overlays of road Traffic*. London: Shell International Petroleum.
- Silva, E. M. (2009). *Drenagem subterrânea em estradas*. Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- Soethe, P. (26 de Setembro de 2017). *Desmistificando o BIM com foco em Infraestrutura*. Obtido de Autodesk: Disponível em: <http://blogs.autodesk.com/mundoaec/desmistificando-o-bim-com-foco-em-infraestrutura/>
- Supraweb Angola, LDA. (2018). *Info Angola*. Obtido de A Biblioteca Virtual de Angola: Fonte: https://www.info-angola.com/index.php?option=com_content&view=article&id=4658&Itemid=1808
- Torrão, H. C. (2015). *Reabilitação de pavimentos rodoviários flexíveis*. Tese de Mestrado, Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Bragança, Portugal.

- Valdo, L. (2015). *Normalização do ensaio de resistência ao escorregamento para rochas ornamentais: análise pelo método do pêndulo britânico*. XXIII - Jornada de Iniciação Científica - CETEM.
- Vassoler, G., Chong, W., & Specht, L. P. (2011). *Comportamento mecânico de pavimentos flexíveis submetidos a gradientes térmicos*. Artigo científico, Universidade Estadual do Maringá, Brasil.
- Videira, F. I. (2014). *Manual de conservação de pavimentos para pequenas redes rodoviárias municipais: bases para a sua elaboração*. Coimbra: Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.
- Viegas, J. M., & de Abreu e Silva, J. A. (2006). *Engenharia de tráfego rodoviário*. Folhas da disciplina, Instituto Superior Técnico, Departamento de engenharia e arquitetura, Lisboa.
- Waldeck Consulting. (2016). *Building Information Modeling*. Obtido de Disponível em: <http://www.waldeckconsulting.com/services/bim-solutions/>



ANEXO B

MAPA DE QUANTIDADES			
Tipo	Espessura (m)	Área (m²)	Volume (m³)
Camada de desgaste	0,05	450,2	22,51
Camada de desgaste	0,05	450,2	22,51
Camada de desgaste	0,05	450,2	22,51
Camada de desgaste	0,05	450,13	22,51
Camada de desgaste	0,05	450,2	22,51
Camada de desgaste	0,05	450,2	22,51
Camada de desgaste	0,05	450,2	22,51
Camada de desgaste	0,05	450,2	22,51
Camada de desgaste	0,05	450,2	22,51
Camada de desgaste	0,05	450,2	22,51
Camada de desgaste	0,05	450,2	22,51
Camada de desgaste	0,05	450,2	22,51
Camada de desgaste	0,05	450,2	22,51
Camada de desgaste	0,05	450,2	22,51
Camada de desgaste	0,05	450,2	22,51
Camada de desgaste	0,05	450,2	22,51
Camada de desgaste	0,05	450,2	22,51
Camada de desgaste	0,05	450,2	22,51
Camada de desgaste	0,05	450,2	22,51
TOTAL		9003,97	450,20

MAPA DE QUANTIDADES			
Tipo	Espessura (m)	Área (m²)	Volume (m³)
Solo de fundação	0,60	500	300
Solo de fundação	0,60	500	300
Solo de fundação	0,60	500	300
Solo de fundação	0,60	500	300
Solo de fundação	0,60	500	300
Solo de fundação	0,60	500	300
Solo de fundação	0,60	500	300
Solo de fundação	0,60	500	300
Solo de fundação	0,60	500	300
Solo de fundação	0,60	500	300
Solo de fundação	0,60	500	300
Solo de fundação	0,60	500	300
Solo de fundação	0,60	500	300
Solo de fundação	0,60	500	300
Solo de fundação	0,60	500	300
Solo de fundação	0,60	500	300
Solo de fundação	0,60	500	300
Solo de fundação	0,60	500	300
Solo de fundação	0,60	500	300
Solo de fundação	0,60	500	300
Solo de fundação	0,60	500	300
Solo de fundação	0,60	500	300
TOTAL		10000,0	6000